DVB

Digital Video Broadcasting

Serie di articoli, pubblicati in più numeri di Elettronica e Telecomunicazioni, trattano e approfondiscono una singola tematica. Lo scopo dell'iniziativa **LeMiniSerie** è di raccogliere tali articoli, con una veste tipografica unitaria che ne faciliti la consultazione.

Questo è l'ottavo volume.

"DVB-T e T2, Digital Terrestrial Television" raccoglie 16 articoli pubblicati da dicembre 1999 ad aprile 2012.

LeMiniSerie sono una iniziativa del
Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della
www.crit.rai.it

In copertina:
Alcuni degli standard DVB. In particolare sono indicati in blu i paesi che hanno adottato o reso operativi gli standard per la diffusione televisiva terrestre T e T2.

DVB - Digital Video Broadcasting

Nel 1991 si riunirono enti di radiodiffusione, produttori di apparati ed enti di regolamentazione in Europa per concordare la formazione di un gruppo che sovraintendesse alla introduzione della TV digitale. Nel 1993 fu realizzato e firmato un accordo (MoU, Memorandum of Understanding) per porre le basi su cui affrontare la competizione sul mercato in uno spirito di fiducia e mutuo rispetto.

Nasceva così il consorzio DVB (Digital Video Broadcasting) che attualmente conta più di 200 partecipanti, provenienti da più di 35 paesi, tra radiodiffusori, operatori di reti, industrie, sviluppatori software, enti di regolamentazione. Ha lo scopo di definire gli standard per la diffusione dei servizi televisivi e dati. Servizi basati sugli standard DVB sono presenti in tutti i continenti e sono quasi 900 milioni i ricevitori in uso.

La prima fase del lavoro portò alla definizione degli standard per la distribuzione della TV digitale mediante le reti tradizionalmente utilizzate dagli enti di radiodiffusione: DVB-S per la diffusione via satellite, DVB-C per la distribuzione via cavo, DVB-T per la diffusione terrestre. Il DVB-H e il DVB-SH sono gli standard per la TV mobile.

Nel 2009 furono completati gli standard della seconda generazione DVB-T2, DVB-C2 e DVB-S2.

Le informazioni precedenti sono tratte dal sito ufficiale www.dvb.org.

I numerosi articoli pubblicati da Elettronica e Telecomunicazioni testimoniano l'impegno della Rai e, in particolare, del Centro Ricerche nella partecipazione alle attività del DVB.

Gli articoli sono stati suddivisi in tre raccolte de **LeMiniSerie.**

Questa raccolta (DVB, Digital Video Broadcasting) comprende 9 articoli. Il primo è del 1994 ed è dedicato alla diffusione televisiva da satellite il DVB-S approvato nel dicembre 1993. Altri articoli sono dedicati al DVB-DSNG per i collegamenti di contributo via satellite e allo standard di diffusione via satellite di seconda generazione: il DVB-S2.

L'ultimo articolo della raccolta è del 2011 e si occupa di un tema di attualità: gli effetti dell'introduzione dei sistemi di telefonia di quarta generazione LTE sugli impianti d'antenna per la distribuzione televisiva.

La raccolta successiva (DVB- e DVB-T2, Digital Terrestrial Television) comprende 16 articoli pubblicati dal 1999 al 2012 sulla televisione digitale terrestre e sugli standard DVB-T e DVB-T2.

Infine la terza raccolta (DVB-H e SH, Mobile TV), include 7 articoli pubblicati dal 2005 al 2009 ed è dedicata agli standard DVB-H e DVB-SH, per la televisione mobile.

Torino, dicembre 2012

Indice degli Articoli

IL SISTEMA EUROPEO (DVB) PER LA DIFFUSIONE TELEVISIVA DA SATELLITE

M. COMINETTI, A. MORELLO*

SOMMARIO — Il Progetto Europeo DVB (Digital Video Broadcasting), che coinvolge più di 125 Organismi (Radiodiffusori, Operatori di reti, Amministrazioni, Industria) ha recentemente sviluppato il sistema europeo per la diffusione via satellite di televisione numerica multiprogramma che verrà utilizzato nei prossimi servizi televisivi sui transponder dei satelliti attualmente operativi, o su quelli previsti nell'immediato futuro ed operanti nelle bande 11/12 GHz. Questo sistema, le cui specifiche tecniche sono entrate nella fase finale della procedura di normalizzazione da parte dell'ETSI, è basato sulle tecnologie numeriche più avanzate per la «codifica» dell'immagine e del suono (secondo gli standard MPEG), per la «multiplazione» e per la «trasmissione» del segnale numerico sul canale da satellite. Il sistema è principalmente orientato ai servizi televisivi DTH (Direct-to-Home), indirizzati cioè all'utenza domestica, ma consente anche la distribuzione del segnale da satellite attraverso le grandi reti in cavo (CATV) e negli impianti di ricezione condominiali (SMATV). È previsto l'impiego di ricevitori/decodificatori integrati (IRD) di tipo commerciale. L'impiego del multiplex a pacchetti MPEG permette l'uso flessibile della capacità trasmissiva per una varietà di configurazioni di servizi, dettate dalle richieste del mercato. L'impiego di tecniche avanzate di protezione agli errori permette di ottimizzare le prestazioni del sistema alle caratteristiche del transponder, quali la larghezza di banda e la potenza, fornendo elevate qualità e disponibilità del servizio con antenne riceventi di piccolo diametro (es. 60 cm). Il sistema DVB per la TV da satellite costituisce il nucleo intorno al quale si sta sviluppando il sistema per la TV numerica terrestre, ed offre potenziali prospettive di utilizzazione su altri media (MMDS, ATM, ADSL, ecc.). L'articolo mette in luce le principali caratteristiche del sistema DVB, focalizzando l'attenzione sulle soluzioni tecniche adottate nell'«adattatore di canale» per la diffusione via satellite.

*SUMMARY — **The European DVB system for satellite digital television.** The European DVB (Digital Video Broadcasting) Project, supported by more than 125 Organisations, has developed the system for satellite multi-programme digital television which can be used from any satellite transponder, current or planned in the 11/12 GHz bands. This system, now at the final phase of the standardisation procedure from ETSI, is based on the most advanced digital technologies for picture and sound coding (i.e. MPEG), for digital multiplexing and for signal transmission. It is intended to provide Direct-To-Home (DTH) Television services with possible distribution in cable receiving installations (CATV and SMATV), and is addressed to consumer IRDs (Integrated Receiver Decoder). The adoption of the MPEG packet multiplex allows flexible use of the transmission capacity for a variety of service configurations, as suggested by the market demand. Furthermore, the use of advanced error-protection techniques enables optimum adaptation to different satellite transponder characteristics, i.e. bandwidth and power, providing high-service quality and availability with small receiving antennas (e.g., 60 cm). The system allows high degree of commonality for use on different media: satellite, cable, terrestrial channels, with potential extension to MMDS, ATM, ADSL, etc. The article highlights the main features of the DVB multi-programme TV system focusing on the technical solutions adopted in the "channel adapter" for satellite transmission.*

1. Introduzione

La tipologia dei servizi televisivi rivolti all'utenza domestica sta subendo un profondo cambiamento come conseguenza della progressiva introduzione delle tecnologie numeriche in tutti gli anelli della catena televisiva (produzione, distribuzione, ricezione), della disponibilità di componenti commerciali a basso costo (VLSI) che realizzano gli algoritmi di compressione MPEG per l'immagine e per il suono, e di avanzate soluzioni che ottimizzano le prestazioni del sistema in presenza di errori introdotti sul canale di trasmissione.

La soluzione numerica, oltre a migliorare sensibilmente la qualità dell'immagine e del suono eliminando l'effetto dei disturbi, delle interferenze e delle distorsioni che degradano la qualità dei servizi analogici, permette di introdurre a breve/medio termine nuovi servizi televisivi configurabili in modo flessibile ed a costi contenuti. Facilita inoltre l'introduzione di tecniche di cifratura del segnale (Controllo di accesso) per i servizi a pagamento. Particolarmente promettenti, in questo scenario in rapida evoluzione, sono le prospettive dei servizi televisivi numerici da satellite DTH (Direct-To-Home) sia nelle bande normalmente assegnate al servizio fisso FSS (Fixed Satellite Service) a 10,7-11,7 GHz e a 12,5-12,75 GHz, sia nella banda dei servizi BSS (Broadcast Satellite Service) a 11,7-12,5 GHz, piani-

* Dott. Mario Cominetti e ing. Alberto Morello del Centro Ricerche RAI - Torino.

Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 12 dicembre 1994.

ficata dalla WARC '77 per la diffusione diretta nelle Regioni 1 e 3. Nonostante la pianificazione della WARC '77, che si basava sull'impiego di satelliti di elevata potenza (EIRP [Equivalent Isotropic Radiated Power] ≈ 63 dBW), la diffusione diretta da satellite nella banda dei 12 GHz non si è sviluppata secondo le previsioni, in gran parte per il costo e le caratteristiche dei sistemi satellitari (alta potenza, cinque soli canali TV in PAL o Secam) e soprattutto per la copertura «nazionale» del servizio. In un'Europa che cresceva rapidamente anche sul piano commerciale e della comunicazione, l'esigenza di servizi TV da satellite a copertura «sovranazionale» diventava primaria. D'altra parte, il significativo miglioramento nelle prestazioni dei sistemi riceventi da satellite e della stessa tecnologia di bordo a partire dal 1977, consentiva progressivamente l'introduzione di servizi televisivi DTH attraverso satelliti paneuropei a media potenza (EIRP ≈ 49 ÷ 51 dBW) nella banda FSS. Un gran numero di programmi televisivi, negli standard PAL e Secam, sono ora disponibili in Europa tramite questi satelliti, con ricezione sia diretta che attraverso reti di distribuzione via cavo (CATV).

L'introduzione della televisione numerica permetterà di aumentare in modo significativo la capacità di trasmissione del canale da satellite, portandola a 4 o più programmi televisivi per transponder (da 36 MHz), contro un singolo programma consentito dalle attuali trasmissioni analogiche (PAL-MF, Secam). Il numero di programmi per transponder dipende dalla larghezza di banda disponibile (ad es. 27, 33, 36, 54 MHz) e dalla qualità attribuita all'immagine, ad es. qualità convenzionale SDTV (Standard Definition TV) o qualità migliorata EDTV (Enhanced definition TV). Grazie a questo notevole aumento della capacità di trasmissione consentito dalla soluzione numerica, una grande quantità di programmi televisivi si renderà disponibile da ciascun satellite, e quindi da una stessa posizione orbitale, offrendo nuove prospettive di mercato ai fornitori di servizio ed all'industria del settore. In Europa questo scenario si potrà concretizzare a breve termine con il lancio (1996) dei satelliti Astra 1E, 1F (posizione 19,2°E) ed Eutelsat Hot Bird 1 e 2 (posizione 13°E).

2. Il Progetto Europeo DVB

Alla luce dei recenti sviluppi tecnologici e delle nuove esigenze di mercato, la Comunità Europea si è assunta il ruolo di individuare le strategie e di coordinare l'introduzione della televisione numerica sui vari media: satellite, cavo, terrestre, ecc. La competenza sugli aspetti tecnici e di normative è stata affidata, nell'aprile 1993, ad un Gruppo di Lavoro Tecnico in ambito al Progetto Europeo DVB (Digital Video Broadcasting). I sistemi televisivi sviluppati dal DVB sono rivolti al mercato europeo e non dettati esclusivamente dallo sfruttamento delle tecnologie più avanzate o da interessi di parte; per questo soddisfano globalmente i requisiti di tutti i partner interessati: radiodiffusori, amministrazioni, operatori satellitari e di reti in cavo, industria del settore, ed offrono quindi concrete prospettive per l'introduzione dei nuovi servizi.

Il primo significativo successo dell'attività del DVB è stato ottenuto con la definizione delle specifiche tecniche del sistema numerico europeo per i servizi televisivi DTH da satellite (Bibl. 1), con possibilità di distribuzione del segnale nelle grandi reti in cavo (CATV) (Bibl. 2) e negli impianti di ricezione condominiali (SMATV = Satellite Master Antenna TV) (Bibl. 3). Il sistema da satellite, chiamato nel seguito DVB-S, è stato sviluppato con il diretto contributo del Centro Ricerche RAI e costituisce il nucleo centrale intorno al quale si è successivamente sviluppata la specifica DVB-C, per la distribuzione sulle reti in cavo; dal sistema DVB-S deriva inoltre la specifica DVB-T, per il sistema televisivo numerico terrestre, attualmente in corso di preparazione. I sistemi DVB-S e DVB-C sono in fase avanzata di normalizzazione da parte dell'ETSI. Tali sistemi, seppure orientati alla diffusione televisiva multiprogramma, consentono la potenziale evoluzione verso l'Alta Definizione (HDTV), tuttora condizionata dalla mancanza sul mercato di schermi di qualità adeguata e a costi accessibili. Inoltre, grazie alle caratteristiche del multiplex a pacchetti MPEG, tali sistemi consentono l'utilizzazione flessibile della capacità di trasmissione disponibile nel canale da satellite per l'introduzione di servizi dati addizionali ad alta capacità (ad es. Teletext e Datacast) o di servizi multimediali, associati o in alternativa al servizio televisivo.

Il coordinamento degli studi tecnici e la delicata attività di mediazione, per la definizione della specifica DVB-S, sono stati affidati al Centro Ricerche della RAI, con il contributo diretto degli autori del presente articolo. Il background tecnico che ha portato alla scelta dello schema di modulazione numerica e codifica di canale nel sistema DVB-S si basa infatti largamente su una prima proposta presentata in ambito al DVB dal Centro Ricerche RAI (Bibl. 4).

Un importante requisito dei servizi televisivi da satellite, oltre alla semplicità ed economicità dei sistemi di ricezione individuali, è la necessità di distribuire il segnale, senza degradamento di qualità ed a costi accessibili, nelle grandi reti in cavo (CATV) e nelle piccole installazioni condominiali SMATV molto diffuse in Italia e in altri paesi europei. La specifica del sistema DVB-S è stata quindi sviluppata tenendo conto anche di tali requisiti.

Una tipica configurazione relativa alla distribuzione di quattro programmi televisivi numerici da satellite secondo gli standard DVB è rappresentata in figura 1. I quattro segnali di sorgente, codificati in numerico (MPEG-2) ed eventualmente cifrati per il controllo di accesso (CA), vengono inviati al multiplatore MPEG di trasporto che provvede a costruire un flusso numerico seriale a 38,1 Mbit/s al quale viene successivamente aggiunta la protezione contro gli errori introdotti dal canale di trasmissione. Il flusso numerico, all'uscita del codificatore di canale viene inviato alla stazione di terra che provvede alla trasmissione verso il satellite con modulazione QPSK (Quadrature Shift Keying). La ricezione del segnale irradiato dal satellite può avvenire tramite sistemi riceventi individuali, sistemi riceventi condominiali (SMATV) e grandi reti in cavo (CATV). La scelta del programma, fra i quattro trasmessi sullo stesso transponder, viene effettuata dall'utente avvalendosi di una informazione aggiuntiva (SI = Service Information) inserita alla sorgente nel multiplatore MPEG-2 di trasporto.

3. Requisiti di servizio e concetti base del sistema DVB-S

Il sistema europeo di televisione numerica da satellite è stato sviluppato sulla base dei requisiti di servizio definiti dal

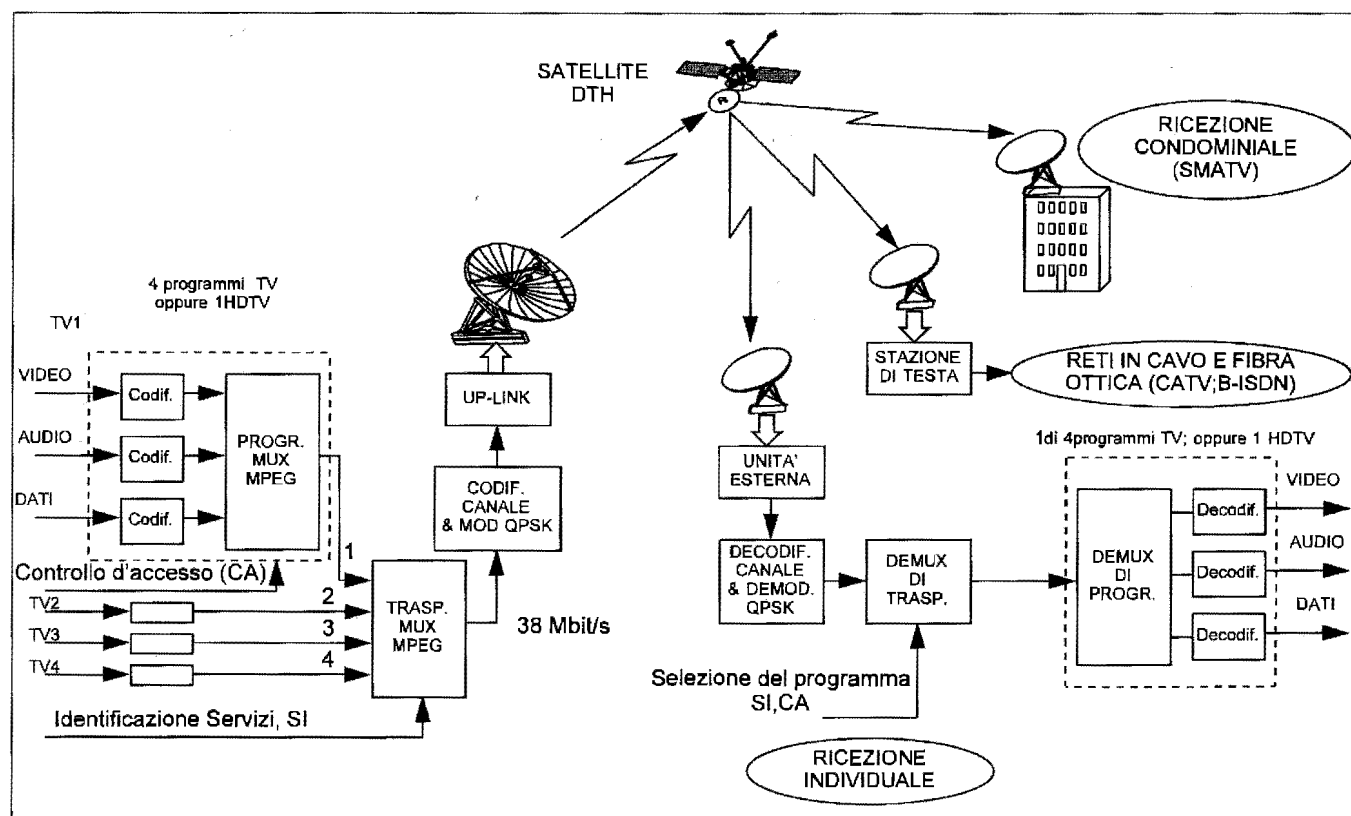



Fig. 1 — Tipica catena televisiva numerica via satellite.

Modulo Commerciale del DVB, cioè: multi-programmazione, multiplazione a divisione di tempo (TDM) su una singola portante numerica, sfruttamento ottimale della larghezza di banda del transponder (da 26 a 54 MHz), uso flessibile della capacità di trasmissione per soddisfare le esigenze di «qualità» tecnica e di «quantità» dei programmi. Altri fattori commerciali, che hanno influito sulla definizione del sistema, sono: l'uso di antenne riceventi di piccole dimensioni (per es. 60 cm o inferiori), la possibilità di operare con satelliti di media potenza (es. 51 dBW di EIRP) e con elevata disponibilità del servizio e lo sviluppo di ricevitori numerici (IRD) ad un prezzo abbordabile per il mercato di consumo.

Il Sistema DVB-S utilizza gli standard MPEG per la Codifica di Sorgente audio/video e per la Multiplazione, e si avvale di un «*Adattatore di Canale da Satellite*» appositamente progettato. I concetti base del sistema sono indicati in figura 2 da cui si identificano le seguenti funzioni principali: struttura della trama (basata sul Multiplex di Trasporto MPEG-2), trattamento del segnale con sequenza pseudocasuale (dispersione di energia spettrale), protezione contro gli

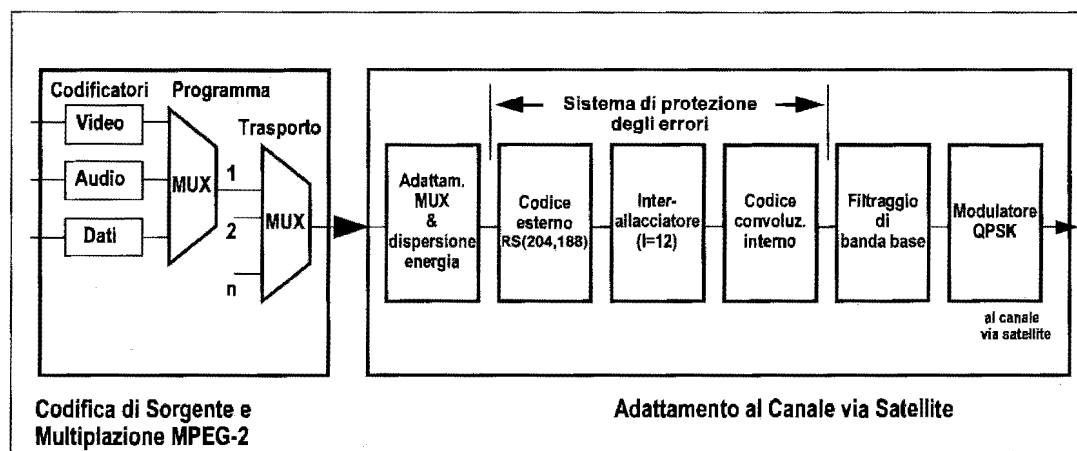



Fig. 2 — Il sistema europeo per la televisione numerica via satellite.

errori introdotti sul canale di trasmissione (mediante concatenazione di un codice interno convoluzionale con codice esterno di Reed-Solomon), flessibilità del codice convoluzionale (da 1/2 a 7/8), interlacciamento del flusso di dati seriale per ridurre l'effetto degli errori a burst, modulazione numerica QPSK con demodulazione coerente.

La flessibilità intrinseca al sistema permette di scegliere fra «efficienza di trasmissione», cioè massima capacità di trasmissione, e «efficienza in potenza», cioè minimo rapporto portante/rumore C/N richiesto per una ricezione corretta. Tale scelta viene fatta di volta in volta sulla base delle caratteristiche del satellite e dei requisiti del servizio.

Il sistema di trasmissione è stato ottimizzato mediante simulazioni al calcolatore dell'intero canale via satellite, integrate da valutazioni in laboratorio (Bibl. 5). Sono stati esaminati i fattori principali che caratterizzano il canale da satellite, e precisamente:

— la larghezza di banda del transponder,

— i filtri di canale in ingresso (IMUX) e in uscita (OMUX),

— l'amplificazione di potenza a bordo TWTA (Travelling Wave Tube Amplifier),

— il rumore, le interferenze e le distorsioni lineari.

Nelle simulazioni, la stazione di salita verso il satellite ed un demodulatore/ricevitore numerico sono stati considerati ideali. L'ottimizzazione delle prestazioni del sistema richiede una opportuna ripartizione del bit-rate disponibile, tra la «*codifica di sorgente*» e la «*codifica di canale*», per la protezione contro gli errori, al fine di ottenere la massima qualità dell'immagine e del suono ed una adeguata disponibilità del servizio. Importanti fattori tecnici a questo riguardo sono: le prestazioni in termini di rapporto portante-rumore (C/N) e il tasso di errore (BER), l'impiego di tecniche di modulazione e codifica di canale appropriate, la necessità di garantire una adeguata flessibilità per la distribuzione del segnale ricevuto da satellite sulle reti in cavo, e, in prospettiva, sui canali di diffusione terrestri ed altri media.

3.1 CODIFICA DELL'IMMAGINE E DEL SUONO

Il Sistema DVB-S è basato sugli standard internazionali MPEG per la codifica dell'immagine e del suono. La codifica del suono è conforme allo standard ISO/IEC 13818-3, che viene anche usato per il DAB (Digital Audio Broadcasting) ed è conosciuto come codifica MUSICAM. Si possono utilizzare il Layer-I o il Layer-II con bit-rate selezionabili nella gamma da 23 kbit/s a 384 kbit/s. Sono possibili vari modi di codifica audio:

MPEG-1: con canale singolo e doppio, stereo congiunto, stereo;

MPEG-2: audio multicanale compatibile.

Il sistema di codifica video MPEG-2 è conforme allo standard ISO/IEC 13818-2 e utilizza tecniche di compressione basate sulla codifica DTC ibrida (Discrete Cosine Transform) con compensazione del movimento. L'MPEG-2 è un sistema di codifica dell'immagine «aperto» con quattro «Livelli», associati a formati di scansione differenti, da HDTV a LDTV (Limited Definition TV) e a cinque «Profili». Il Sistema DVB-S adotta il Main Profile at Main Level (MP@ML). La frequenza di trama è di 25 Hz, il formato di immagine convenzionale (4:3) oppure allargato (16:9). L'immagine codificata offre varie risoluzioni di luminanza (orizzontale e verticale) nei formati 720·576, 544·576, 480·576, 352·576 e 352·288 pixel/quadro. Il bit-rate massimo per la codifica d'immagine consentito dai componenti VLSI che realizzano l'algoritmo MPEG-2 (MP@ML) è di circa 15 Mbit/s.

Per quanto riguarda la qualità dell'immagine codificata in MPEG-2, recenti valutazioni soggettive hanno dimostrato che, partendo da una sorgente video 4:2:2, secondo la Raccomandazione 601 dell'ITU-R, una qualità d'immagine soggettiva media paragonabile al PAL è ottenibile con un bit-rate di circa 6 Mbit/s, adatta quindi per servizi SDTV, mentre una qualità soggettivamente equivalente a quella disponibile in studio, con un rapporto di immagine 16:9, secondo la Raccomandazione 601, richiede circa 9 Mbit/s e consente quindi una qualità EDTV. Tali bit-rate si riferiscono esclusivamente alla codifica dell'immagine; si richiede quindi un'ulteriore capacità per la trasmissione dei pacchetti MPEG (prefisso di pacchetto), i canali audio, le Informazioni di Servizio (SI), l'Accesso Condizionato (CA) e i servizi dati (Teletext, sottotitoli, Datacast, servizi multimediali, ecc.).

3.2 MULTIPLAZIONE, CODIFICA DI CANALE E MODULAZIONE

La struttura di trama del sistema DVB-S (vedi figura 3) utilizza il multiplex di trasporto MPEG-2, con pacchetti di lunghezza fissa di 188 byte (vedi figura 3a) che comprendono 1 byte di sincronismo, 3 byte di prefisso (contenenti gli identificatori di pacchetto PID) e 184 byte utili. Questa struttura permette un facile adattamento nel trasporto del segnale via satellite e sulle reti ATM. Il multiplex è flessibile e consente di convogliare, in un singolo flusso numerico, segnali relativi ad un gran numero di programmi televisivi, ciascuno comprendente le relative informazioni video, audio e dati. Un canale di Servizio (SI), inserito nel multiplex, permette all'utente di selezionare il programma desiderato all'interno del «*bouquet*» disponibile.

Poiché i pacchetti MPEG non prevedono la protezione agli errori sui 3 byte del prefisso, è stato necessario sviluppare un *adattatore di canale* robusto ed in grado di fornire al demultiplatore del ricevitore un flusso numerico esente da errori, per la successiva decodifica dell'immagine e del suono.

Il sistema di codifica di canale e di modulazione effettua l'adattamento al canale via satellite del segnale televisivo, in banda base, in uscita dal multiplatore di trasporto MPEG-2; la struttura della trama di trasmissione è sincrona rispetto ad esso. Al fine di sottostare alle specifiche del Radio Regolamento ITU, per la dispersione di energia, e di facilitare il recupero del sincronismo nel ricevitore, il flusso dati all'uscita del multiplatore è trattato bit per bit con una sequenza pseudocanale PRBS (Pseudo-Random Binary Sequence); tale sequenza è sincronizzata ad una trama di 8 pacchetti MPEG-2 (vedi figura 3b) che è delimitata da 2 byte di sincronismo (SYNC 1) invertiti, e non trattati con la sequenza PRBS. I pacchetti così trattati sono successivamente codificati con codice correttore Reed-Solomon RS (204, 188). Il codice aggiunge 16 byte di ridondanza ai 188 utili del pacchetto scramblato (vedi figura 3c) e fornisce una capacità di correzione di T = 8 byte.

Nello schema di codifica concatenata per la correzione degli errori, adottato nel sistema, si prevede l'uso del l'algoritmo di Viterbi (soft-decision) per decodificare il codice convoluzionale (codice interno); ciò consente di ridurre drasticamente il tasso di errore medio introdotto sul canale guadagnando in prestazioni. Tuttavia, gli errori

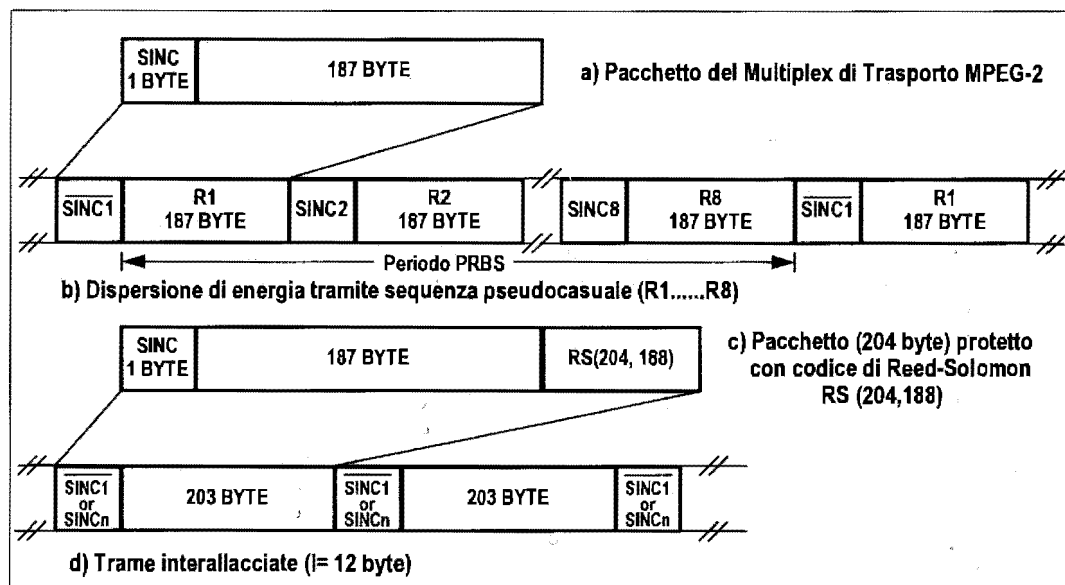



Fig. 3 — Struttura di multiplazione e trasmissione del sistema DVB-S.

all'uscita del decodificatore di Viterbi non sono statisticamente indipendenti, ma sono invece raggruppati in burst che sovraccaricano la capacità di correzione del codice di Reed-Solomon (codice esterno) RS. Per migliorare la capacità di correzione degli errori a burst da parte del codice RS, i pacchetti vengono sottoposti in trasmissione ad un processo di interlacciamento con passo I = 12 a livello di byte. Si adotta allo scopo uno schema di interlacciamento di tipo convoluzionale, basato sull'algoritmo di Forney.

La trama interlacciata è quindi codificata con un codice convoluzionale punturato (codice interno), con lunghezza di vincolo K = 7, che può operare con diversa efficienza di codifica: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8, selezionabile in trasmissione in base alle esigenze del servizio (capacità di trasmissione e prestazioni in termini di C/N). Nel ricevitore, ciascuna velocità di codice viene verificata in modo continuo sul segnale numerico in uscita dal demodulatore QPSK, fino a quando viene recuperato il sincronismo di trama. Nella codifica 1/2 ad ogni bit di informazione si aggiunge 1 bit di protezione, nella codifica 2/3 a 2 bit d'informazione si aggiunge 1 bit di protezione, e così via. Di conseguenza le prestazioni del codice, in termini di capacità di trasmissione, aumentano progressivamente passando dalla versione 1/2 fino alla versione 7/8, a scapito però di una progressiva riduzione della capacità di correzione degli errori.

In trasmissione, il segnale numerico è filtrato in banda base al fine di generare uno spettro coseno rialzato, con roll-off del 35% per l'invio al modulatore QPSK. I bit codificati sono mappati in una costellazione con codifica di Gray. In ricezione, si effettua la demodulazione coerente sul segnale QPSK e la decodifica soft-decision di Viterbi del codice convoluzionale interno. Si è adottata la modulazione QPSK per la particolare robustezza contro il rumore, le interferenze e la non linearità del TWTA, che, al fine di ottimizzare l'efficienza in potenza, opera normalmente vicino alla saturazione. D'altra parte, i servizi televisivi DTH via satellite sono caratterizzati più dalla necessità di limitare la potenza a bordo che da restrizioni dovute alla larghezza di banda.

Il sistema di trasmissione è stato progettato per fornire una qualità dell'immagine quasi immune da errori, meno di un errore durante un'ora di trasmissione, corrispondente ad un tasso di errore BER $\cong 10^{-11}$ all'uscita del demultiplatore MPEG-2, dopo la correzione di errore tramite RS. Questo valore di BER, sull'immagine, corrisponde ad un BER di circa $2 \cdot 10^{-4}$ all'uscita del decodificatore di Viterbi.

Riassumendo, le caratteristiche principali dello schema di codifica di canale sono: «*robustezza*» contro gli errori di trasmissione dovuti al rumore, alle interferenze e alle distorsioni introdotte sulla catena via satellite, e «*flessibilità*», cioè la capacità di adattare il bit-rate disponibile, all'uscita del multiplatore di trasporto MPEG-2, alla larghezza di banda ed alla potenza del transponder del satellite.

4. Prestazioni e applicazioni del sistema DVB-S

Il Sistema DVB-S è stato ottimizzato per il funzionamento in TDM (Time Division Multiplexing), impiegando una portante singola per la trasmissione del segnale numerico attraverso un TWTA di bordo, operante vicino alla saturazione; viene in tal modo ottimizzato il rendimento in potenza del satellite, condizione essenziale per operare con piccole antenne riceventi nei servizi DTH. Il sistema può evidentemente anche essere utilizzato per applicazioni di tipo FDM (Frequency-Division Multiplexing), trasmettendo vari segnali numerici su portanti diverse, separate in frequenza entro la banda dello stesso transponder. Questa modalità operativa è particolarmente interessante nell'area della produzione e distribuzione televisiva, con riversamento di programmi tra e verso i «Centri di Produzione». Tuttavia, in questo caso, è necessario far operare il TWTA al di sotto della potenza nominale, cioè in modo quasi lineare, introducendo un opportuno back-off (OBO), al fine di limitare i degradamenti dovuti ai prodotti di intermodulazione che si generano entro la banda passante del transponder.

Le larghezze di banda dei transponder dei satelliti BSS e FSS, attualmente operanti in Europa, vanno da 26 a 72 MHz. I satelliti della prossima generazione previsti per i servizi televisivi numerici DTH useranno generalmente

transponder da 33 MHz.

È importante accennare qui ai criteri adottati nell'ottimizzazione della capacità di trasmissione consentita dal satellite. Su una determinata larghezza di banda (BW, a –3 dB) del transponder, il segnale numerico, con modulazione QPSK, viene trasmesso alla velocità di simbolo R_s. Il rapporto BW/R_s determina l'efficienza di trasmissione del canale da satellite. Ridurre il rapporto BW/R_s, per una determinata banda, significa aumentare la velocità di simbolo e quindi anche la capacità di trasmissione globale. Esiste tuttavia un limite inferiore al rapporto BW/R_s dovuto alla necessità di contenere il livello di distorsione introdotta dal satellite ed imputabile ai filtri IMUX ed OMUX ed al TWTA. Il problema di scegliere un valore ottimo del rapporto BW/R_s, per un determinato transponder, è equivalente ad accettare un compromesso tra il degradamento di C/N e la massima velocità di simbolo e quindi il bit-rate utile (R_u) all'uscita del multiplatore MPEG-2.

La Tabella 1 riporta, a titolo di esempio, i valori del bit-rate (R_u) disponibile per varie larghezze di banda del transponder (BW), in funzione dell'efficienza del codice convoluzionale (da 1/2 a 7/8).

TABELLA 1
BIT-RATE UTILE (R_u) IN FUNZIONE DELLA LARGHEZZA DI BANDA DEL TRANSPONDER (BW) PER UN RAPPORTO BW/R_s = 1.28

BW (at-3 dB) [MHz]	R_s (BW/R_s= 1.28 [Mbaud]	R_u (rate 1/2) [Mbit/s]	R_u (rate 2/3) [Mbit/s]	R_u (rate 3/4) [Mbit/s]	R_u (rate 5/6) [Mbit/s]	R_u (rate 7/8) [Mbit/s]
54	42.2	38.9	51.8	58.3	64.8	68.0
46	35.9	33.1	44.2	49.7	55.2	58.0
40	31.5	28.8	38.4	43.2	48.0	50.4
36	28.1	25.9	34.6	38.9	43.2	45.4
33	25.8	23.8	31.7	35.6	39.6	41.6
30	23.4	21.6	28.8	32.4	36.0	37.8
27	21.1	19.4	25.9	29.2	32.4	34.0
26	20.3	18.7	25.0	28.1	31.2	32.8
R_u è il bit-rate utile all'uscita del multiplatore di trasporto MPEG-2 R_s è la velocità di simbolo, corrispondente alla larghezza di banda a –3 dB del segnale modulato						

I valori di Tabella 1 si basano su un rapporto BW/R_s di 1.28 al quale corrisponde un degradamento totale del rapporto E_b/N_0 di circa 1 dB sulla catena da satellite simulata. Il sistema, semplicemente cambiando l'efficienza del codice interno da 1/2 a 7/8, permette di ottenere un bit-rate variabile da 18.7 Mbit/s a 68 Mbit/s, utilizzabile per la trasmissione di segnali televisivi altamente protetti su canali da satellite con larghezze di banda differenti.

La Tabella 2 riporta le prestazioni del sistema, per diversi valori del codice interno (da 1/2 a 7/8), in funzione del rapporto E_b/N_0 richiesto per ottenere una ricezione «*Quasi Priva di Errori*» all'ingresso del demultiplatore MPEG-2 (BER $\cong 10^{-11}$).

Consideriamo, a titolo di esempio, di utilizzare il Sistema DVB-S su un tipico transponder da 33 MHz (–3 dB). Assumendo un rapporto BW/R_s di 1.28, che consente una velocità di simbolo di 25.8 Mbaud (vedi Tabella 1), si rende disponibile un bit-rate utile variabile da 23.8 a 41.6 Mbit/s, a seconda dell'efficienza del codice interno (da 1/2 a 7/8). Il sistema con efficienza 3/4 è particolarmente interessante in quanto consente l'interconnessione diretta di reti terrestri plesiocrone (PDH) a 34,368 Mbit/s per il trasporto del segnale numerico alla stazione trasmittente di terra del satellite.

TABELLA 2
PRESTAZIONI[1] RF IN PRESENZA DI RUMORE
(IMMAGINE QUASI PRIVA DI ERRORI DOPO CORRETTORE RS;
BER = $2 \cdot 10^{-4}$ DOPO VITERBI)

Efficienza del codice interno	E_b/N_0 (dB) richiesto		C/N richiesto (in $B_{rx} = R_s$) (dB)	
	AWGN[2]	Satellite	AWGN[2]	Satellite
1/2	4.5	5.5	4.2	5.2
2/3	5.0	6.0	5.9	6.9
3/4	5.5	6.5	6.9	7.9
5/6	6.0	7.0	7.9	8.9
7/8	6.4	7.4	8.5	9.5

[1] è incluso un margine di implementazione del modem di 0,8 dB e 1 dB di degradamento del rapporto E_b/N_0 introdotto dal satellite.
[2] AWGN = rumore bianco gaussiano additivo.

5. Ricezione del segnale via satellite

La televisione da satellite nei servizi DTH, anche se orientata alla ricezione diretta da parte dell'utente, richiede normalmente la distribuzione del segnale attraverso grandi reti in cavo (CATV) e piccole installazioni riceventi collettive (SMATV), che servono edifici equipaggiati con singola antenna ricevente. Per ridurre i costi delle installazioni e dei terminali è necessaria la massima trasparenza ed interoperabilità fra il canale da satellite e le reti in cavo.

In Europa le caratteristiche e le prestazioni delle reti in cavo CATV e SMATV sono alquanto diverse. Le reti di CATV servono in genere intere città o quartieri, sono realizzate professionalmente e sono sottoposte a manutenzione e controlli da parte di operatori tecnici per garantire nel tempo il soddisfacimento della normativa CENELEC 50083-7. Le reti SMATV sono sostanzialmente sistemi televisivi condominiali che usano tecnologie commerciali a basso costo e metodi di progettazione semplici, e non dispongono di un regolare controllo delle prestazioni. Questo implica che la qualità tecnica, in particolar modo nelle vecchie installazioni, può essere sensibilmente inferiore a quella ottenibile nelle reti di CATV. Inoltre, per quanto riguarda la distribuzione dei segnali da satellite sorgono esigenze diverse per le reti di CATV, che possono richiedere processi complessi e costosi nel terminale di testa (per es. demodulazione QPSK, e rimodulazione 64 QAM, demultiplazione/ri-multiplazione per eliminare e/o inserire programmi, ecc.), e per le installazioni SMATV dove il costo del terminale di testa deve essere mantenuto il più basso possibile.

5.1 RICEZIONE INDIVIDUALE

In un collegamento via satellite ben dimensionato il rumore rappresenta la principale causa di degradamento. Lo schema di correzione degli errori adottato nel Sistema DVB-S determina un rapido degradamento di qualità dell'immagine e del suono all'aumentare del rumore fino a raggiungere la soglia di errore. Con circa 0.9 dB di variazione del C/N si passa dalla ricezione *Quasi Priva di Errori* all'interruzione del servizio. In tali condizioni il dimensionamento del collegamento via satellite (link-budget) non può basarsi sui criteri convenzionali generalmente utilizzati per i servizi di televisione analogica a modulazione di frequenza MF (grado di qualità 3.5 utilizzati per i servizi di televisione analogica a modulazione di frequenza MF (grado di qualità 3.5 della scala ITU-R a 5 gradini per il 99% del mese peggiore), ma deve garantire la continuità del servizio per almeno il 99,6% del mese peggiore, corrispondente a circa 99,9% dell'anno medio.

A titolo di esempio sono state valutate le prestazioni del sistema DVB-S effettuando bilanci di collegamento (Bibl. 6) per determinare il diametro dell'antenna ricevente, richiesta nelle zone climatiche E (Berlino) e L (Roma) per diversi valori della velocità di simbolo R_s e dell'efficienza del codice convoluzionale, assumendo una disponibilità di servizio del 99,9% (anno medio) su un'area di copertura con EIRP di 51 dBW. La figura 4 ne riporta i risultati, tenendo conto dei valori dell'attenuazione dovuta alla pioggia, nelle due regioni climatiche E e L, calcolati secondo i metodi del CCIR (Rapporto 564-4). Le valutazioni sono state fatte prendendo in considerazione le prestazioni degli attuali ricevitori commerciali da satellite (figura di rumore NF = 1,1 dB).

Dall'esame della figura 4, con l'aiuto della Tabella 1, si può concludere che, nel caso di un transponder da 33 MHz (velocità di simbolo: 25.8 Mbaud): a Berlino, in zona climatica E, un'antenna ricevente da 60 cm consente di operare con un bit-rate utile di 41.6 Mbit/s con efficienza 7/8 del codice interno. Le dimensioni dell'antenna possono essere ridotte fino a 45 cm se si adotta un'efficienza del codice di 2/3, ma ciò a scapito di una riduzione del bit-rate utile, che scende a 31,7 Mbit/s.

A Roma, in zona climatica L, dove le condizioni di propagazione sono meno favorevoli, le dimensioni dell'antenna ricevente, per gli stessi valori di bit-rate e di efficienza del codice, risultano maggiori di quelle richieste a Berlino. Con un'antenna ricevente di circa 60 cm è possibile disporre di un bit-rate utile massimo di 23.8 Mbit/s, ottenibile adottando una efficienza 1/2 del codice interno.

La figura 5 riporta la relazione fra il diametro dell'antenna ricevente e l'efficienza del codice (da 1/2 a 7/8) per una disponibilità del servizio compresa tra il 99,7% ed il 99,99% nell'anno medio. Nelle stesse condizioni, un eventuale aumento della potenza (EIRP) irradiata dal satellite oltre i 51 dBW, considerata negli esempi, permette di ridurre progressivamente le dimensioni dell'antenna ricevente pur assicurando la stessa disponibilità del servizio.

Fig. 4 — Tipico diametro di antenna per ricezione da satellite nelle zone climatiche E (Berlino) e L (Roma) in funzione della velocità di simbolo e dell'efficienza dei codici di protezione dagli errori (FEC), per una disponibilità di servizio del 99,9% (anno medio) nell'area con EIRP di 51 dBW.

Fig. 5 — Disponibilità del servizio (anno medio) per una EIRP del satellite di 51 dBW e per una velocità di simbolo di 26 Mbaud nelle zone climatiche E (Berlino) e L (Roma), in funzione del diametro dell'antenna ricevente.

Quale esempio di applicazione del sistema DVB-S, si considera il caso di un transponder con una larghezza di banda di 36 MHz (33 MHz a –1 dB) e con EIRP di 51 dBW nell'area di servizio (vedi Tabella 3). Questo valore di EIRP sarà probabilmente disponibile dai satelliti della nuova generazione, Eutelsat e Astra per i servizi DTH di TV numerica in Europa. Il bit-rate all'uscita del multiplatore MPEG-2 è stato fissato a 38,1 Mbit/s, assumendo una efficienza 3/4 del codice convoluzionale interno. Ciò permette una capacità sufficiente per la trasmissione di 5 programmi televisivi con un bit-rate lordo di 7,6 Mbit/s per programma, comprensivo di un canale audio stereo, servizi dati, SI e Accesso Condizionato. Con il sistema DVB-S, con i parametri esposti in Tabella 3, in varie zone climatiche dell'Europa, per es. a Berlino, a Ginevra ed a Roma, è possibile offrire servizi DTH di elevata qualità con disponibilità del 99,9% (anno medio) impiegando antenne riceventi da 50, 65 e 80 cm, rispettivamente. È importante osservare che il bit-rate utile di 38,1 Mbit/s, considerato nell'esempio, rappresenta il massimo valore consentito per la distribuzione *trasparente* del segnale da satellite nelle reti in cavo (CATV e SMATV) su canali da 8 MHz, con rimodulazione da QPSK a 64QAM (vedi paragrafo 5.2).

TABELLA 3
ESEMPIO DI UN SISTEMA TV NUMERICO MULTI-PROGRAMMA DA SATELLITE

CODIFICA VIDEO CODIFICA AUDIO	MPEG-2 MP@ML MPEG ISO/IEC
Bit-rate utile: – video – audio – dati – accesso condizionale, SI	38.1 Mbit/s 32.5 (5x6.5) Mbit/s 1.9 (5x0.384) Mbit/s 2.0 (5x0.4) Mbit/s 1.7 (5x0.34) Mbit/s
Numero di programmi TV	5 (7.6 Mbit/s ciascuno)
Modulazione Banda del transponditore Spettro del segnale (a –3 dB) C/N richiesto* (27.8 MHz) per ricezione ad alta qualità	QPSK-3/4+(α=0.35)RS (204.188) 33 MHz (a – 1 dB) 27.8 MHz 7.4 dB
Antenna ricevente per una disponibilità del 99,9% (anno medio) Area di servizio: 51 dBW E.I.R.P.	80 cm zona L (es. Roma) 65 cm zona K (es. Ginevra) 50 cm zona E (es. Berlino)

* Comprensivo di 2 dB di margine.

5.2 RICEZIONE COMUNITARIA

L'utilizzazione del sistema DVB sui vari media (satellite, cavo, canali terrestri, ecc.) pone il problema della modulazione che deve essere ottimizzata per le diverse caratteristiche del canale fisico (larghezza di banda, potenza, degradamenti, ecc.).

L'impiego di un unico schema di modulazione sul satellite e sulle reti in cavo, è praticamente impossibile. Infatti il canale da satellite non è lineare ed è limitato in potenza, ma a sua volta non è limitato in banda (27 ÷ 54 MHz); viceversa la rete in cavo è sostanzialmente lineare, con rapporti S/N relativamente elevati, ma è limitata in banda (7 ÷ 8 MHz) ed è generalmente affetta da echi e da altre distorsioni. Per la distribuzione nelle reti in cavo (CATV e SMATV) è stato sviluppato il sistema DVB-C che differisce dal sistema DVB-S solo per quanto riguarda la modulazione e, in parte, la codifica di canale. Anche la specifica DVB-C è in fase avanzata di normalizzazione da parte dell'ETSI.

Al fine di permettere la massima trasparenza e di minimizzare le differenze fra i ricevitori il sistema DVB-C adotta lo stesso procedimento di banda base del sistema da satellite DVB-S (dispersione di energia, codifica Reed-Solomon RS, interlacciamento). Tuttavia, la limitata larghezza di banda delle reti in cavo (8 MHz) e la necessità di trasporto degli elevati bit-rate tipici del satellite, impone l'uso di modulazioni ad alto livello, quali 16 QAM, 32 QAM e 64 QAM, con roll-off del 15%. Inoltre, grazie al basso livello di rumore presente sulle reti in cavo non è richiesto l'impiego del codice convoluzionale interno; ciò consente di aumentare l'efficienza di trasmissione del sistema. In tal modo, con modulazione 64 QAM e velocità di simbolo R_s di circa 7 Mbaud (valore massimo utilizzabile su un canale da 8 MHz) si rende disponibile un bit-rate utile di 38.1 Mbit/s, all'uscita del multiplatore MPEG-2. Con le modulazioni 32 QAM e 16 QAM si ottengono bit-rate utili di 31.9 Mbit/s e 25.2 Mbit/s, rispettivamente.

Per la distribuzione dei segnali numerici ricevuti da satellite nelle installazioni SMATV si prevedono due metodi:

- distribuzione trasparente dei segnali QPSK da satellite mediante semplice conversione di frequenza nella super-banda estesa (da 230 a 470 MHz), attualmente non utilizzata nelle installazioni condominiali, e/o alla prima frequenza intermedia FI del satellite (da 0.95 a 2.05 GHz). La distribuzione avviene, in entrambi i casi, con lo stesso passo di canalizzazione del satellite (ad es. 38,36 MHz);
- ri-modulazione nel centralino, da QPSK a 16 QAM, 32 QAM oppure 64 QAM, e distribuzione nei canali da 8 MHz.

Queste due tecniche di distribuzione sono in corso di studio e di sperimentazione presso il Centro Ricerche RAI in ambito al Progetto europeo RACE DIGISMATV (Bibl. 7). L'obiettivo è di realizzare in laboratorio tipiche reti di distribuzione condominiali di segnali DVB da satellite secondo le due tecniche sopra indicate ed impiegando componenti commerciali, al fine di individuare le soluzioni ottimali in termini di prestazioni e costi.

Qualora il bit-rate utile disponibile sul canale da satellite sia superiore alla capacità distributiva delle reti in cavo, sia CATV che SMATV, con canalizzazione di 8 MHz, nella stazione di testa della rete si renderà necessario demultiplare il segnale ricevuto dal satellite, eliminando la capacità che non interessa, e ricostruire la multiplazione MPEG-2 per la distribuzione del segnale sulla rete in cavo.

6. Utilizzazione dei sistemi DVB sui vari media

Un fondamentale requisito dei sistemi sviluppati in ambito al progetto europeo DVB è la necessità di assicurare la massima interoperabilità fra specifiche DVB-S e DVB-C e quelle relative ai futuri sistemi televisivi, attualmente allo studio, per la diffusione sui canali terrestri VHF/UHF e su altri media (MMDS, ADSL, ecc.).

L'interoperabilità permette la massima compatibilità software e hardware fra i sottosistemi e le varie parti degli apparati, riducendo la complessità ed il costo dei ricevitori per i vari servizi. Il livello di interoperabilità dipende dalla codifica di sorgente (audio, video) e dalla multiplazione,

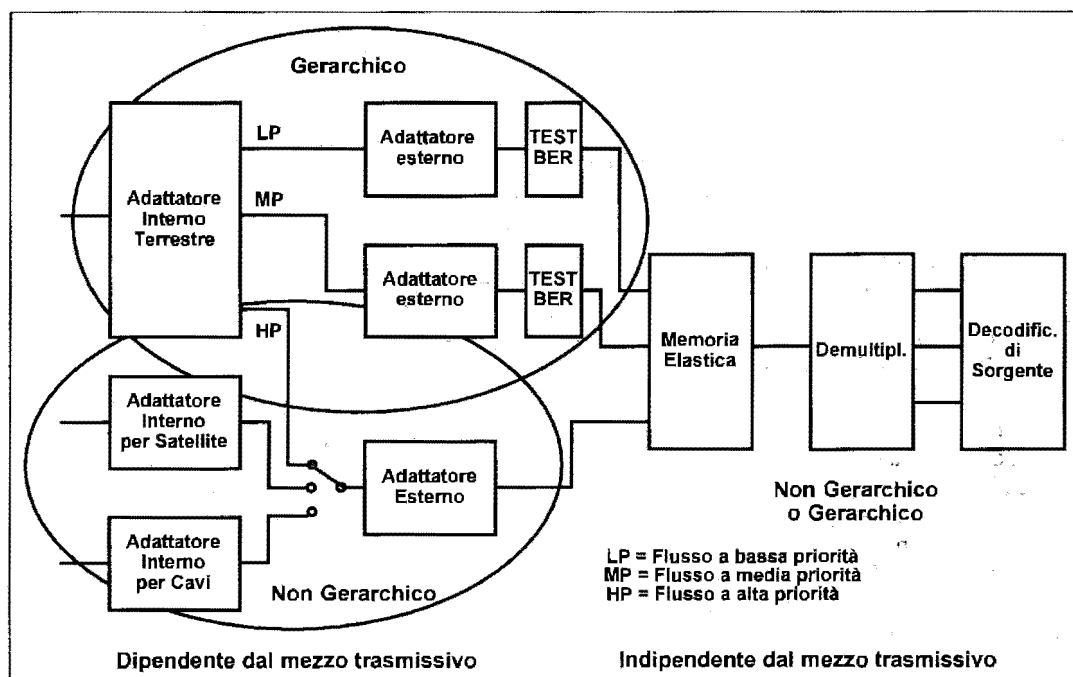
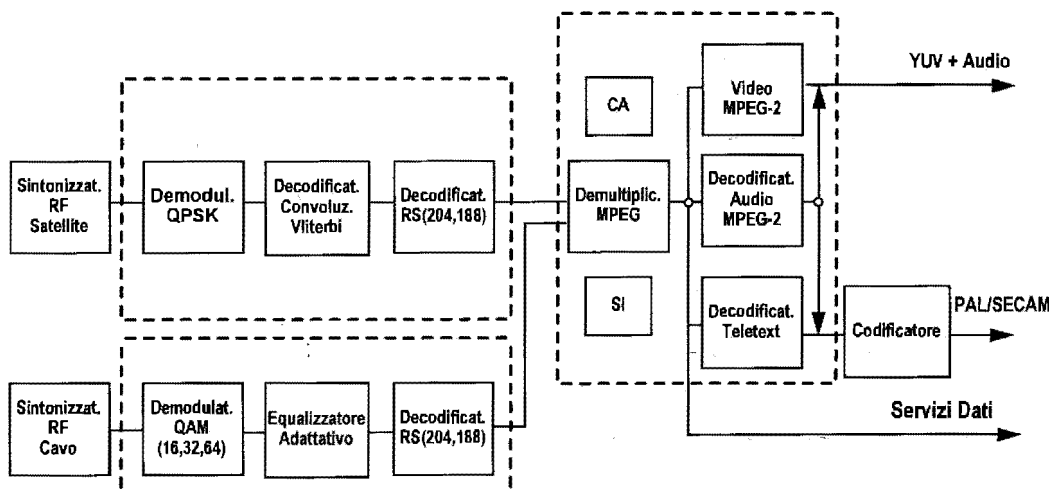



Fig. 6 — Esempio di struttura del ricevitore comune per televisione numerica.

nonché dalla codifica di canale e dalla modulazione numerica, ottimizzate queste ultime alle caratteristiche del canale di trasmissione.

Per quanto riguarda la codifica di sorgente e la multiplazione, la scelta nel sistema DVB satellite/cavo della codifica di immagine MP@ML e della multiplazione MPEG-2, permette un'evoluzione compatibile verso livelli di codifica e profili più avanzati, quali quelli dell'EDTV (da scalabile a gerarchico) o dell'HDTV. Questi nuovi profili sono inoltre particolarmente interessanti per la diffusione terrestre, dove è desiderabile che la qualità dell'immagine degradi progressivamente e non bruscamente nel passaggio da condizioni ottime a condizioni di cattiva ricezione, frequentemente riscontrabili nelle zone marginali dell'area di servizio. Allo scopo, questi schemi di codifica gerarchica assegnano livelli diversi di protezione agli errori, per es. HP (Alta Priorità), MP (Priorità Media), LP (Bassa Priorità), a flussi di bit differenti che contribuiscono ciascuno in modo diverso alla qualità globale dell'immagine. Questa soluzione consentirà pertanto a un ricevitore equipaggiato con un'antenna direttiva, di ricevere direttamente immagini HDTV (che sfruttano tutti i flussi di dati), o immagini EDTV (flussi MP+HP), grazie alla buona qualità di ricezione garantita dal sistema ricevente di antenna; per contro lo stesso ricevitore HDTV o EDTV, se situato ai bordi dell'area di servizio, potrà ancora ricevere immagini a definizione convenzionale (flusso dati HP ad alta protezione). Le stesse immagini in qualità convenzionale verranno inoltre ricevute dai ricevitori portatili, equipaggiati con semplice antenna omnidirezionale.

La figura 6 mostra la possibile architettura di un tipico ricevitore televisivo commerciale, adatto alla ricezione di segnali numerici DVB da satellite e nelle reti in cavo, nonché in prospettiva, da canali terrestri in banda VHF/UHF.

Fig. 7 — Schema di principio di un ricevitore DVB per servizi TV via satellite e via cavo.

Il demultiplatore e il decodificatore video MPEG-2 (MP@ML), adottati nei sistemi DVB elaborano in modo compatibile il segnale numerico trasmesso sui diversi media: satellite, cavo e terrestre. Schemi di codifica video più sofisticati, che permettono di ottenere immagini EDTV scalabili e HDTV, potranno essere introdotti in futuro, in particolare sui canali terrestri, mantenendo la compatibilità verso il basso con i ricevitori DVB non gerarchici della prima generazione, che continuerebbero comunque a visualizzare le immagini con definizione convenzionale.

Per quanto riguarda la correzione degli errori, il codice di Reed-Solomon RS (204, 188), l'interlacciamento e la struttura di trama (vedi figura 3) dei Sistemi DVB-S e DVB-C sono adatti anche per i sistemi terrestri e consentono un alto livello di compatibilità. Questo sub-sistema di correzione degli errori è indicato in figura 6 come «adattatore esterno del sistema base». Nel caso di sistemi gerarchici, si richiedono specifici «adattatori esterni del sistema base», operanti in parallelo sui flussi numerici a differente priorità (HP, MP e LP). Per quanto riguarda la codifica convoluzionale (codice interno) e la modulazione, non è possibile adottare una soluzione comune per i diversi media (satellite, cavo, terrestre) senza perdere nelle prestazioni dei vari sistemi. Per ottimizzare tali prestazioni vengono infatti utilizzate per il satellite la modulazione QPSK, per i cavi le modulazioni QAM (16, 32 o 64) e per i canali terrestri la modulazione multiportante OFDM. Nel ricevitore multiservizio sarà pertanto necessario adottare opportuni «*adattatori interni*» dipendenti dai media, come indicato in figura 6.

La figura 7 illustra lo schema di principio di un ricevitore DVB per servizi TV sia satellite e via cavo che verranno introdotti, a breve termine, in Europa.

7. Conclusioni

In ambito al Progetto europeo DVB, costituito dalla Comunità Europea per definire, coordinare e promuovere i nuovi servizi televisivi numerici sui vari media è stato sviluppato un sistema per la diffusione da satellite di Televisione Numerica multi-programma con possibilità di distribuzione del segnale anche nelle grandi reti in cavo (CATV) e negli impianti condominiali (SMATV). Il sistema definito con la collaborazione diretta del Centro Ricerche RAI fa uso delle tecnologie numeriche più avanzate per la codifica del suono e dell'immagine e per la codifica di canali. Tali soluzioni si basano sugli standard MPEG e sul concatenamento di un codice di Reed-Solomon e di un codice convoluzionale per la correzione degli errori. Il sistema DVB permette l'introduzione a breve termine di servizi televisivi numerici di diffusione all'utente DTH (Direct-To-Home) attraverso i canali da satellite nelle bande FSS e BSS, con possibilità di configurare in modo flessibile il servizio in termini di qualità e numero di programmi per canale, a seconda delle richieste del mercato.

Per quanto concerne la distribuzione dei segnali di satellite nelle grandi reti via cavo (CATV) con canalizzazione di 8 MHz, si rende necessaria la rimodulazione da QPSK a QAM (16, 32 oppure 64). Il Sistema DVB da satellite con modulazione QPSK è adatto per la distribuzione trasparente alla prima FI (da 0.95 a 2.05 GHz) negli impianti riceventi condominiali. Alternativamente, nel centralino di tali impianti, il segnale può essere rimodulato da QPSK a QAM (16, 32 o 64) per la distribuzione su canali da 8 MHz, adottando le stesse specifiche del sistema per la CATV. In entrambi i casi si raccomanda l'uso di un equalizzatore di echi adattativo che verrà incorporato nel ricevitore.

Il sistema DVB da satellite/cavo costituisce il nucleo intorno al quale vengono sviluppati i futuri sistemi televisivi numerici per l'utilizzazione sugli altri media. In tale contesto, gli sforzi del Progetto DVB sono ora focalizzati sull'ambizioso obiettivo di sviluppare a breve termine il sistema europeo per la televisione terrestre. L'attività di studio e sperimentazione codotta in ambito al Progetto DVB rappresenta quindi il fattore dominante per un'armonica progressiva evoluzione in Europa verso il mondo della televisione numerica.

Gli autori desiderano ringraziare l'ing. Michele Visentin per la valutazione delle prestazioni del sistema DVB-S sul canale da satellite simulato a calcolatore.

BIBLIOGRAFIA

1. - ETSI: «*Digital broadcasting systems for television, sound and data services; framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services*», pr ETS 300 421, giugno 1994.
2. - ETSI: «*Digital broadcasting systems for television, sound and data services; framing structure, channel coding and modulation - Cable systems*», pr ETS 300 429, giugno 1994.
3. ETSI «*Digital broadcasting systems for television, sound and data services; satellite master antenna television (SMATV) distribution systems*», pr ETS 300 473, novembre 1994.
4. - M. Cominetti, A. Morello, M. Visintin: «*Satellite Digital Multi-programme TV/HDTV*», EBU Tech. Review, Nr 256, Summer 1993.
5. - M. Cominetti, A. Morello: «*Direct-to-home digital multi-programme television by satellite*», IBC '94, Amsterdam, settembre 1994.
6. - «*Potential applications of the baseline modulation/channel coding system for digital multi-programme television by satellite*», Doc. DTVB 1163 rev, November 1993.
7. - M. Ariaudo, G. Garazzino, V. Sardella: «*Distribution of the satellite QPSK signal on SMATV networks*», Doc. DIGI-SMATV-RP-A12A1-012-RAI, 6 giugno 1994.

Il nuovo Standard DVB per il DSNG ed altri collegamenti di contributo via satellite

V. Mignone, A. Morello*

*Ing. V. Mignone e Ing. A. Morello Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica - Torino

Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 13 gennaio 2000

Nel Luglio 1997, il modulo tecnico del Progetto DVB (Digital Video Broadcasting) ha istituito un gruppo di lavoro sul DSNG sotto la direzione della RAI con il compito di (I) definire la specifica di modulazione e codifica di canale per il DSNG e altre applicazioni di contributo via satellite, (II) definire la specifica per i canali di coordinamento ausiliari (III) collaborare con altri gruppi DVB per la stesura di una guida d'utente per la codifica di sorgente, le Informazioni di Servizio (Service Information, SI) e l'Accesso Condizionato (Conditional Access, CA). Quest'attività di standardizzazione ha portato alla definizione di un sistema DVB-DSNG molto flessibile, che può offrire un'ampia gamma di livelli di qualità dell'immagine a diversi bit-rate utilizzando lo standard MPEG2 con profili MP@ML (fino a 15 Mbit/s) e 422P@ML (fino a 50 Mbit/s), e alla specifica di un sistema opzionale per i canali di coordinamento ausiliari, non trattata in questo articolo per motivi di sinteticità.

THE NEW DVB STANDARD FOR DIGITAL SATELLITE NEWS GATHERING AND OTHER CONTRIBUTION APPLICATIONS BY SATELLITE - In July 1997, the Technical Module of the DVB (Digital Video Broadcasting) Project has set-up an Ad-Hoc Group on DSNG under the chairmanship of RAI, with the tasks (I) to define the specification for modulation/channel coding for DSNG and other contribution applications by satellite, (II) to define the specification for the auxiliary co-ordination channels and (III) to co-operate with other DVB groups for the definition of the user guidelines for Source coding, Service Information (SI) and scrambling for Conditional Access (CA). This standardisation activity has led to the definition of a flexible DVB-DSNG system, which can offer a range of different picture quality levels at various bit-rates by using the MPEG-2 MP@ML (up to 15 Mbit/s) and the 422P@ML (up to 50 Mbit/s) algorithms, and to the specification for auxiliary co-ordination channels, not described in this paper for conciseness reasons.

1. Introduzione

Nelle trasmissioni televisive moderne, dominate da una sempre maggiore competizione, l'acquisizione in tempo reale di avvenimenti, come ad esempio incontri sportivi, interviste, concerti, calamità, sia in ambito nazionale che internazionale, è un fattore determinante per l'aumento degli indici d'ascolto. In questo contesto il sistema SNG (Satellite News Gathering, Acquisizione di Notizie via Satellite), grazie a terminali trasmittenti leggeri e ad antenne di dimensioni ridotte (da 90 a 150 cm), è la soluzione ottimale per stabilire connessioni rapide tra unità trasmittenti mobili e studi televisivi senza richiedere un accesso locale alla rete fissa di telecomunicazioni (che a volte può essere difficile o perfino impossibile).

I sistemi SNG analogici esistenti per trasmissioni TV di tipo PAL, SECAM e NTSC che usano la modulazione di frequenza (FM) sono utilizzati correntemente sia in banda C che in banda Ku. In Europa i collegamenti per trasmissioni TV via satellite sono comunemente effettuati nella banda Ku (14-14,5 GHz in trasmissione, 10,71-12,75 GHz in ricezione). Tuttavia, nonostante i continui progressi nella progettazione di antenne e amplificatori abbiano permesso di ridurre notevolmente i problemi riguardanti l'ingombro e il peso dell'apparecchiatura analogica per SNG, la trasportabilità è un problema chiave che richiede tuttora adeguate soluzioni nel mondo analogico. Il livello di potenza (EIRP) richiesto alle stazioni trasmittenti di up-link dipende dalla copertura del satellite che riceve il segnale. Nel caso delle stazioni analogiche di *up-link* è tipicamente di 69-75 dBW, variabile in base alle dimensioni dell'antenna e all'amplificatore d'alta potenza (HPA, High Power Amplifier) utilizzato; le dimensioni dell'antenna variano da 1,5 a 2,4 m e le potenze dell'HPA da 300 a 600 W.

L'introduzione in commercio di piccole apparecchiature numeriche per la compressione audio/video e le moderne soluzioni di modulazione e protezione dagli errori hanno però permesso recentemente lo sviluppo di sistemi numerici SNG (DSNG, Digital SNG). Questi sistemi possiedono diversi vantaggi rispetto alla soluzione analogica, tra i quali i più significativi sono la "miniaturizzazione" dei terminali trasmittenti, l'utilizzo di minori potenze di trasmissione (EIRP) ed

un uso più efficiente dello spettro di frequenza. Ciò permette la trasmissione simultanea di più segnali attraverso il transponder del satellite, aumentando la flessibilità d'accesso allo stesso transponder e riducendo il costo per ciascun canale.
La flessibilità insita nella soluzione numerica permette di soddisfare le richieste di qualità più disparate nella trasmissione via satellite di notizie, eventi sportivi e spettacoli, mediante l'utilizzo di algoritmi di compressione audio/video al bit-rate più appropriato. Inoltre, la robustezza del sistema numerico nei confronti del rumore e dell'interferenza offre una qualità costante dell'immagine e del suono alla stazione ricevente, ciò ovviamente fino ad un certo livello soglia del segnale ricevuto.
Prima dello sviluppo dello standard DVB-DSNG i collegamenti numerici TV di contributo via satellite erano basati per quanto riguarda la compressione video sullo standard ETSI 300 174 [1]. Questo sistema era progettato per applicazioni di contributo a 34 e 45 Mbit/s, ma opzionalmente era anche disponibile in versioni ridotte proprietarie a 17 e 8,5 Mbit/s. Il sistema di modulazione e di codifica di canale era basato sulla specifica IDR, che prevede la modulazione QPSK e la codifica convoluzionale. Negli anni 1993-94 il Progetto DVB (Digital Video Broadcasting) ha sviluppato la specifica di un sistema televisivo numerico multiprogramma per trasmissioni via satellite (DVB-S), sotto la diretta responsabilità del Centro Ricerche Rai [2], [3]. Con il successo a livello mondiale di questo sistema si è compreso come esso potesse essere utilizzato anche per le applicazioni DSNG con vantaggi significativi rispetto ai sistemi precedenti [4], sia in termini di costi che in termini di prestazioni e flessibilità.
Nell'estate 1997 il Progetto DVB ha deciso di realizzare, sempre sotto la responsabilità della RAI, una nuova specifica per il DSNG basata sul sistema DVB-S, ma con un certo numero di caratteristiche aggiuntive, tali da rispondere alle varie richieste di tipo commerciale per le applicazioni di contributo.
Il sistema DVB-DSNG (standard EN 301 210) [5] è trasparente per segnali nel formato del flusso di trasporto (TS, Transport Stream) di MPEG-2, e può trasportare segnali video codificati nel formato MPEG-2 Main Profile at Main Level (MP@ML), o, quando sono richieste alta qualità e possibilità avanzate di postproduzione, nel formato 4:2:2 Profile at Main Level (422P@ML). Oltre a questi possono comunque essere trasportati altri profili e livelli MPEG-2, come ad esempio il 422P@HL, adatto per collegamenti di contributo HDTV (High Definition TeleVision, televisione ad alta definizione).
Il sistema DVB-DSNG è basato sulla modulazione QPSK con codifica convoluzionale, schema che, originariamente progettato per servizi televisivi destinati all'utenza domestica (DTH, Direct-To-Home) via satellite in modalità multicanale per portante modulata (MCPC, Multiple Channels Per Carrier), si è rivelato adatto per essere usato efficientemente anche per applicazioni DSNG e di contributo in modalità a singolo canale per portante modulata (SCPC, Single Channel Per Carrier). Ciononostante, per ottenere un'efficienza spettrale più alta in applicazioni meno affette da limitazioni di potenza sono stati aggiunti altri modi di trasmissione opzionali, basati sulle modulazioni 8PSK e 16QAM codificate a traliccio, che permettono un migliore sfruttamento della banda nel caso di applicazioni in cui si disponga di stazioni di terra più potenti (come nel caso di stazioni di uplink montate su mezzi mobili). La principale caratteristica del sistema DVB-DSNG è la flessibilità dello schema di modulazione e codifica, che permette di scegliere la modulazione, la codifica e la velocità di tra-

smissione, in modo tale da ottimizzare le prestazioni del singolo collegamento via satellite (come l'occupazione di banda e la potenza).
Il DVB ha definito delle soluzioni tecniche specifiche per il trasporto dei segnali MPEG sulle reti terrestri (PDH, SDH), che trasformano i pacchetti del flusso di trasporto TS in celle ATM. Questi adattatori possono essere utilizzati per connettere le stazioni riceventi DSNG agli studi televisivi.

2. Requisiti d'utente del sistema DSNG definiti dal Modulo commerciale del DVB

Le caratteristiche tecniche dei sistemi DVB sono guidate principalmente da esigenze di mercato. Il Modulo Commerciale (CM) del DVB analizza le necessità del mercato e formalizza i "requisiti commerciali d'utente" per il Modulo Tecnico (TM), responsabile dello sviluppo delle specifiche.
In accordo con l'ITU, il CM ha adottato la seguente definizione di SNG (dalla Raccomandazione ITU SNG.770-1): "Trasmissioni temporanee e occasionali di notizie audio/video per scopi trasmissivi TV, usando stazioni terrestri trasmittenti altamente portatili o trasportabili operanti nella struttura di Servizio Satellitare Fissa (FSS)".
Un "terminale" o un "up-link" DSNG è una stazione di terra portatile (o trasportabile) che, da una località remota, trasmette programmi video (con suono associato) o audio, siano essi registrati o in diretta. Questa stazione può essere resa in un formato portatile (detto anche "in valigia") o integrata all'interno di un veicolo.
I terminali trasmittenti DSNG devono essere altamente affidabili ed avere dimensioni e peso ridotti, mentre la stazione ricevente può essere dimensionata in modo da garantire la disponibilità richiesta dal collegamento. Il formato di trasmissione del segnale per ogni applicazione deve garantire sia un'alta robustezza nei confronti del rumore che il miglior sfruttamento possibile della capacità del satellite.
Il sistema deve inoltre essere caratterizzato da rapidità d'intervento e bassa complessità per stabilire il collegamento. In particolare "gli apparati devono essere configurabili ed utilizzabili da non più di due persone in un tempo ragionevolmente breve (per es. 1 ora)". L'interoperabilità fra differenti apparati è ovviamente una caratteristica fondamentale del DSNG, specialmente nell'ambito dello scambio internazionale di programmi.
I collegamenti DSNG sono per natura collegamenti di contributo, le cui qualità oggettive sono definite dalla Rec. ITU-R BT.1121. Il CM ha stabilito che *"non è necessario definire formalmente obiettivi di qualità minori, pur tenendo presente che, in base alle circostanze, possibili riduzioni della qualità possono essere accettate dall'utente. Per collegamenti DSNG, valori tipici di bit-rate usati con stazioni trasmittenti portatili (fly-away) e per piccoli terminali trasportabili sono dell'ordine di 8 Mbit/s, con codifica MPEG-2 MP@ML. Comunque, per stazioni trasportabili"*, quando sono richiesti alta qualità e la possibilità di rielaborazione dei programmi, *"dovrebbe essere preferito l'uso del profilo MPEG-2 422P@ML.... In questo caso i bit-rate dovranno essere compresi tra 8 e 34 Mbit/s"*.
Per quanto riguarda la multiplazione, sebbene le trasmissioni DSNG di solito trasportino un singolo programma TV con i relativi segnali sonori associati (modalità SCPC), *"si dovrebbe tenere conto del vantaggio derivato dalla flessibilità del multiplatore MPEG-DVB"*, che permette la trasmissione simultanea di più programmi (modalità MCPC).
I ritardi di elaborazione dei sistemi di compressione possono essere molto alti (anche oltre 1 secondo), specialmente con i moderni sofisticati algoritmi di codifica che

permettono alti rapporti di compressione del bit-rate. Brevi ritardi di codifica video sono caratteristiche importanti per quelle applicazioni in cui la trasmissione DSNG è legata a programmi in diretta, dal momento che lunghi ritardi potrebbero impedire dialoghi tra i giornalisti in studio e quelli inviati nella località dell'avvenimento.
Gli apparati per il DSNG, opzionalmente, devono poter fornire due o più circuiti di comunicazione bidirezionale via satellite, possibilmente nello stesso transponder in cui vi è il segnale principale DSNG. Questi canali devono essere disponibili prima, durante e dopo la trasmissione DSNG, per collegare l'operatore DSNG, l'operatore satellitare e l'ente televisivo. Questi dispositivi possono anche essere utilizzati per la trasmissione di dati e FAX. La specifica riguardante questi canali di comunicazione [6] è stata terminata nell'autunno del 1998 ed è stata approvata in ambiente ETSI nella primavera del 1999.
Per quanto riguarda il costo della struttura, il CM ha indicato che "deve essere considerato il costo totale del sistema e delle relative operazioni, e non solo il costo del ricevitore. Una parte non trascurabile del costo totale di una trasmissione SNG è dovuta alle richieste di capacità sul satellite. Per ottimizzarne lo sfruttamento, tecniche di modulazione addizionali al QPSK, come l'8PSK e il 16QAM, possono essere considerate ".

3. Codifica di sorgente e multiplazione

Tra i motivi che hanno portato al successo degli standard DVB, molto è dovuto all'adozione di "una soluzione comune" per la codifica video/audio e la multiplazione, per tutti i canali di trasmissione (cioè reti via satellite, CATV, terrestri VHF/UHF e MMDS), rendendo possibile la produzione di massa di chip VLSI per i ricevitori d'utente (Consumer IRD, Integrated Receiver Decoders).

3.1. La codifica video

La codifica MPEG-2 MP@ML può essere usata come soluzione base per la codifica delle immagini nelle applicazioni DSNG. Questa scelta permette alta flessibilità per le applicazioni DSNG potendo operare con bit-rate variabili tra 1,5 e 15 Mbit/s.

I codecodificatori MPEG-2 sono basati sugli algoritmi ibridi DPCM/DCT (Differential Pulse Code Modulation / Discrete Cosine Transform) con compensazione del movimento, che operano su quadri di tipo Intra (I, che sfrutta la sola correlazione spaziale), Predetto (P, che sono ottenuti utilizzando anche l'informazione dei quadri precedenti di tipo I e P con compensazione del movimento) e Bidirezionale (B, che possono utilizzare la correlazione dei quadri I e P precedenti e successivi). Bisogna ricordare che MPEG-2 MP@ML è un sistema 4:2:0 progettato per servizi di distribuzione piuttosto che di contributo. A bit-rate di circa 6 e 9 Mbit/s permette, per i programmi oggi esistenti, una qualità soggettiva equivalente rispettivamente al sistema PAL e alle immagini 4:2:2. Bit-rate più bassi possono essere accettabili per applicazioni specifiche (ad es. film, notiziari, trasmissioni educative), dove limitazioni di banda e di potenza sono predominanti rispetto alle richieste sulla qualità dell'immagine.

Nel 1995, l'MPEG-2 ha definito un "profilo" di codifica dell'immagine per soddisfare le richieste provenienti dal mondo della produzione, che si chiama 422P@ML. Questo sistema offre un numero di caratteristiche aggiuntive compatibili con il formato MP@ML: la velocità di codifica può essere aumentata fino a 50 Mbit/s e la componente di colore mantiene il formato 4:2:2 come il formato di studio non compresso. Questo permette una qualità dell'immagine più alta, una risoluzione cro-

matica migliore, la possibilità di fare postproduzione dopo la decodifica, e di definire piccoli gruppi di immagini (GoP, Group of Pictures) per migliorare il trattamento del segnale nella forma compressa e abbreviare il ritardo di codifica. Test di qualità oggettiva (con osservatori non esperti e distanza di visione 4H) sono stati effettuati dal Centro Ricerche RAI e da altre organizzazioni [7] su sequenze 422P@ML simulate al computer con generazioni singole e multiple (8 processi di codecodifica) e successive operazioni di postproduzione, in particolare l'intarsio (Chroma-key o colour matte), critico in quanto evidenzia i difetti di codifica.

Sono stati analizzati diversi tipi di strutture GoP:

- una configurazione di tipo Intra, che permette precisione di un quadro nei processi di "editing", a spese di una bassa efficienza di compressione, a 50 e 30 Mbit/s (indicate come I@50 e I@30);
- una costituita da un quadro Intra ed uno Bidirezionale, che permette un buon compromesso tra richieste di editing e rapporti di compressione, a 30 e 20 Mbit/s (indicate come IB@30 e IB@20);
- il tradizionale GoP MP@ML, con 15 quadri di tipo IBBP a 20 Mbit/s (indicato come IBBP@20).

Con riferimento alla scala di qualità a 100 livelli e doppio stimolo, nei documenti MPEG vengono arbitrariamente definiti i seguenti livelli di qualità:

- "trasparente " (da 0 a 12,5);
- "quasi trasparente " (da 12,5 a 20);
- "buona" (da 20 a 40).

Le prove soggettive indicano che, dopo otto processi di codecodifica, le sequenze I@50 (compreso il *chromakey*) e IB@30 soddisfano il criterio di "trasparenza" e, dopo un solo processo di codecodifica, il *chromakey* può essere effettuato in maniera "trasparente" sulle sequenze I@30 e IB@20. Inoltre, tutte le strutture di codifica sono risultate "quasi trasparenti", a parte alcuni test che hanno lievemente superato il livello 20.

In conclusione, per soddisfare l'ampia gamma di livelli di qualità dell'immagine e i bit-rate richiesti dal DSNG e dalle altre applicazioni di contributo, il formato MPEG-2 MP@ML a bit-rate variabile da 1,5 a 15 Mbit/s può coprire le applicazioni dove non è necessaria (o è molto limitata) una postproduzione in studio prima della ritrasmissione, mentre l'MPEG-2 422P@ML a bit-rate da 15 a 30 Mbit/s può coprire applicazioni ad alta qualità, dove sono richieste possibilità di effettuare postproduzione e una serie di codecodifiche in cascata.

In ogni caso si deve tenere conto che le operazioni di *editing* dei flussi di trasporto MPEG-2 in studio, senza decodifica, possono risultare molto difficili a causa di problemi relativi al trattamento dei *clock* e al controllo del sovraccarico dei *buffer* di memoria. Quindi in molti casi i contributi DSNG (indipendentemente dallo schema di compressione adottato) devono essere riconvertiti in studio nel formato 4:2:2, modificati e quindi ricodificati per la trasmissione finale (nel formato MP@ML).

3.2. La codifica audio

Riguardo alla codifica audio, tutti i sistemi DVB, in linea con l'andamento orientato alla standardizzazione internazionale, adottano il metodo di codifica audio MPEG di livello 2, che permette un'ampia gamma di bit-rate (da 64 a 256 Kbit/s) in modo da soddisfare tutte le diverse richieste di servizio. Bit-rate più bassi di 64 kbit/s possono essere applicati per alcune applicazioni DSNG a canali mono. All'interno del DVB si sta anche valutando l'uso opzionale della codifica audio lineare (non compressa) per applicazioni di contributo richiedenti massima qualità sonora.

3.3. Il multiplex di trasporto e le informazioni di servizio (SI)

Il sistema DVB-S adotta una struttura di trama comune, basata sul multiplex di trasporto MPEG-2, con pacchetti di lunghezza fissa pari a 188 byte, composti da 1 byte di sincronizzazione, 3 di intestazione e 184 utili. Questa struttura permette un semplice interfacciamento tra canali diffusivi e reti di TLC che utilizzano protocolli ATM.
Il multiplex è flessibile e permette di convogliare, in un singolo flusso numerico (Transport Stream TS, flusso di trasporto) diversi servizi video, audio e di dati, così come informazioni addizionali (come ad esempio informazioni di servizio, accesso condizionato), permettendo quindi sia servizi a singolo canale per portante modulata (SCPC) che multicanale (MCPC).
Le tabelle DVB-MPEG di informazioni di servizio (SI, Service Information), definite per applicazioni diffusive, descrivono in dettaglio la configurazione del multiplex ed il contenuto del programma, e permettono all'utente un facile accesso ad un'ampia gamma di programmi attraverso la Guida Elettronica dei Programmi (EPG, Electronic Program Guide). L'allegato D della specifica del DSNG tratta un meccanismo semplificato di informazioni di servizio, basato su poche tabelle fisse, evitando così di compilare l'informazione di servizio sul luogo, in modo da accelerare la creazione del collegamento e semplificare i problemi di interoperabilità. È anche fornita l'identificazione della stazione trasmittente, nel caso si verificassero situazioni di emergenza dovute ad interferenza.
Delle tabelle SI definite da MPEG-2, introdotte per descrivere la configurazione del multiplex ed il contenuto del programma nei servizi diffusivi, solo la Programme Associated Table (PAT) e la Programme Map Table (PMT) e la Transport Stream Descriptor Table (TSDT) sono obbligatoriamente mantenute nella specifica DSNG. Nella tabella TSDT, un descrittore indica che si tratta di un flusso di trasporto per le applicazioni di contributo (non per un pubblico di massa). Inoltre, per trasmissioni DSNG, è inserito un altro descrittore che permette un'identificazione veloce della stazione di up-link in caso di problemi di trasmissione (come un accesso errato al transponder o al satellite). Queste strutture SI possono ostacolare la compatibilità con gli IRD del consumatore; quindi, se questa compatibilità è richiesta dall'operatore, tutte le tabelle SI devono essere compilate in accordo con la specifica del DVB-SI.
Dal momento che nessuna correzione di tipo FEC protegge i pacchetti di testa nel flusso TS, è necessario un "adattatore di canale" robusto per fornire un flusso di dati libero da errori all'ingresso del demultiplexer, come descritto nel prossimo paragrafo.

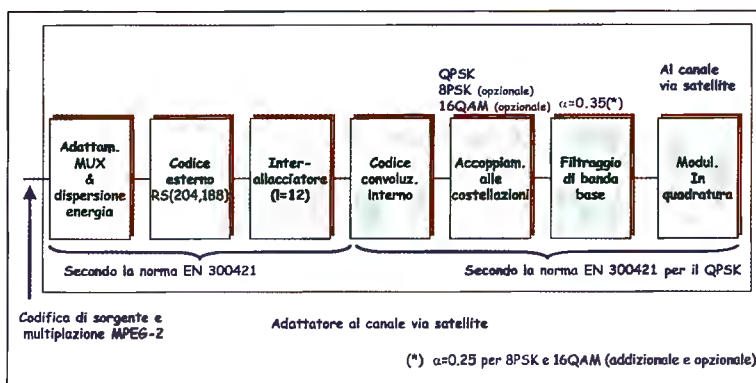
4. Modulazione e codifica di canale

Le prestazioni del sistema di trasmissione DSNG dipendono dai vari componenti della catena via satellite:

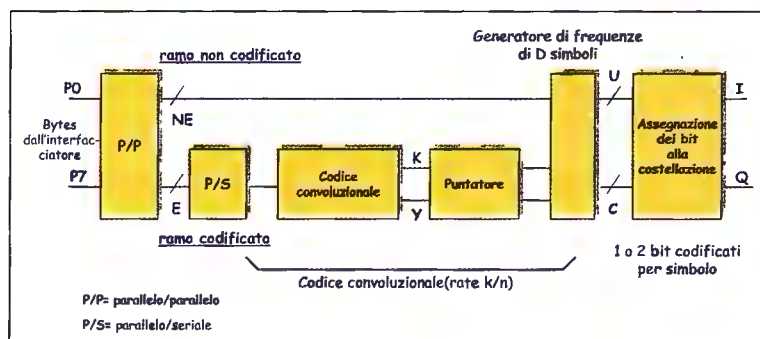
- Stazione trasmittente terrestre;
- Segmento di spazio (tratta in salita e in discesa);
- Transponder di bordo del satellite (filtri IMUX - Input Multiplexer, OMUX – Output Multiplexer e amplificatore TWT – Travelling Wave Tube);
- Stazione ricevente terrestre.

Il canale via satellite è tipicamente non lineare, a larga banda e limitato in potenza. I deterioramenti del segnale principale sono dovuti al rumore, all'attenuazione da pioggia e all'interferenza nel segmento di spazio e a possibili disallineamenti fra stazione e apparecchiatura trasmittente e ricevente. Inoltre la non linearità (distorsione di ampiezza e fase) dell'amplificatore non lineare a bordo del satellite (TWTA) è re-

sponsabile del degradamento delle prestazioni complessive del sistema.
Nel caso dei servizi numerici DTH destinati all'utenza domestica, viene trasmessa una singola portante QPSK sul transponder e solitamente il TWTA del satellite è utilizzato in prossimità del punto di saturazione in modo da massimizzare lo sfruttamento della potenza a bordo del satellite. Gli effetti della non linearità del TWTA sono una distorsione della forma d'onda e una generazione di lobi secondari nello spettro di potenza. In tali applicazioni, a causa delle ridotte dimensioni delle antenne riceventi, la disponibilità del servizio è principalmente limitata dal rumore nella tratta in discesa.
Per applicazioni DSNG e di contributo, il metodo normale di accesso ai transponder è la multiplazione a divisione di frequenza (FDM, Frequency Division Multiplexing), dove parte della banda del transponder ("slot" di frequenza) è allocata a ciascun segnale. In tali configurazioni, per ridurre l'effetto del rumore di intermodulazione introdotto dalle portanti adiacenti presenti sullo stesso transponder, il TWTA deve operare significativamente sotto il punto di saturazione. Le richieste di linearità sono dovute anche al fatto che il segnale FDM aggregato non è più caratterizzato da un inviluppo costante, anche se il segnale singolo può essere ad inviluppo quasi costante (ad es. QPSK e 8PSK). Inoltre, più alta è l'efficienza spettrale dello schema di modulazione/codifica, più stringenti sono le richieste di linearità, a causa della riduzione della robustezza del sistema contro l'interferenza dovuta all'intermodulazione dei segnali adiacenti.
Una trasmissione efficiente e affidabile di segnali televisivi numerici su canali via satellite è focalizzata sul progetto dell'"adattatore di canale", che permette l'adattamento del flusso di bit multiplato video/audio/dati al canale fisico, mediante l'uso di potenti tecniche di modulazione e di codifica di canale. Il sistema DSNG è stato progettato in modo tale da permettere la minimizzazione degli effetti distorcenti del canale di trasmissione, come il rumore additivo, l'interferenza da segnali analogici e numerici, e le distorsioni lineari e non lineari. Il sistema specificato offre diversi modi di trasmissione (modulazioni e codice interno), presentando differenti soluzioni di compromesso tra potenza ed efficienza spettrale.
È stata adottata la modulazione QPSK, e come modulazioni opzionali l'8PSK ed il 16QAM, e la concatenazione di codici convoluzionali e Reed-Solomon. Il modo QPSK è compatibile con il sistema DVB-S definito in [2], mentre per l'8PSK ed il 16QAM è stata adottata la codifica pragmatica a traliccio [8], ottimizzando la protezione contro gli errori dello stesso codice convoluzionale. I modi QPSK e 8PSK, grazie al loro inviluppo quasi costante, sono adatti per operare con gli amplificatori di potenza del satellite in saturazione, in configurazione del transponder a portante singola. Il 16QAM (così come il QPSK e l'8PSK) è adatto per operare su canali via satellite quasi lineari, in applicazioni multiportante di tipo FDM, quando è richiesta una migliore efficienza spettrale.
La figura 1 mostra il diagramma a blocchi funzionale del sistema di trasmissione. Il flusso di dati in ingresso, organizzato in pacchetti di 188 byte, secondo la multiplazione di trasporto MPEG-2 [9], è trattato bit a bit

Fig. 1 - Schema a blocchi funzionale del sistema.

con una sequenza pseudocasuale (PRBS, Pseudo Random Binary Sequence), che rende lo spettro del segnale trasmesso di forma regolare. Ciò per soddisfare le specifiche del Radio Regolamento ITU, per la dispersione dell'energia, e facilitare il recupero del sincronismo nel ricevitore. Ad ogni pacchetto viene poi applicato il codice accorciato Reed-Solomon RS(204,188,t=8), derivante dall'originale RS(255,239,t=8).

Dal momento che, al ricevitore, gli errori residui all'uscita del decodificatore di Viterbi non sono statisticamente indipendenti, ma raggruppati in gruppi (burst) che possono superare la capacità di correzione del codice RS, un interallacciatore convoluzionale a livello di byte con profondità I pari a 12 viene applicato ai pacchetti. I pacchetti interallacciati sono poi passati al codificatore convoluzionale, che è basato su un codice di rate 1/2 con lunghezza di vincolo pari a 7 (traliccio a 64 stati), e che permette la selezione del livello più appropriato di correzione di errore per un dato servizio o per un certo flusso di dati: la codifica convoluzionale punturata è associata con la modulazione QPSK (in accordo con la specifica del sistema DVB-S [2] e prevede la possibilità di operare con 5 possibili efficienze di codifica diverse: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8; la modulazione codificata a traliccio (TCM) pragmatica è associata alle modulazioni 8PSK e 16QAM. Lo schema base del codificatore pragmatico a traliccio è mostrato in figura 2.

Fig. 2 - Principio di funzionamento del codificatore interno.

Il flusso di byte paralleli all'uscita dell'interallacciatore convoluzionale è convogliato nel convertitore parallelo/parallelo, che separa i bit entranti in due rami, a seconda del modo selezionato di modulazione/codifica interna, e progettato in modo da ridurre, in media, la probabilità di errore sul byte all'ingresso del codificatore RS (forte concentrazione di bit errati in byte), e quindi la probabilità di errore sul bit (BER, Bit Error Rate) dopo RS.

I segnali NE del ramo non codificato generano attraverso il blocco di composizione delle sequenze di simboli, una sequenza di segnali U, ciascuno da trasmettere in un simbolo modulato. Questi bit generano transizioni parallele nel codice a traliccio, e sono solo protetti da una grande distanza Euclidea nello spazio dei segnali. I segnali E nel ramo codificato sono inviati al codificatore convoluzionale punturato. Questi bit generano, attraverso il blocco di composizione delle sequenze di simboli, una sequenza di segnali C, ciascuno da trasmettere in un simbolo modulato. Gli schemi 8PSK 5/6 e 8/9 sono caratterizzati da un bit codificato per simbolo (1CBPS, Coded Bit Per Symbol), mentre gli schemi 8PSK 2/3 e 16QAM 3/4 e 7/8 hanno 2 bit codificati per simbolo (2CBPS). La scelta degli schemi di codifica a traliccio, fra un numero di differenti proposte, è stata fatta dal Centro Ricerche RAI dopo accurate simulazioni al computer. Gli schemi scelti sono quelli che offrono le migliori prestazioni su un canale lineare affetto da rumore gaussiano bianco additivo (AWGN). In caso di prestazioni simili sono stati preferiti gli schemi 1CBPS, dal momento che richiedono una minor velocità di elaborazione da parte del decodificatore TCM di Viterbi confrontati con gli schemi 2CBPS, e quindi permettono l'implementazione di modem a velocità più alta (per applicazioni di contributo ad alta qualità o per trasmissioni MCPC).

Infine il segnale viene filtrato in banda base e modulato. Per tutte le costellazioni, come

definito nel sistema DVB-S [2], il filtro utilizzato è a radice di coseno rialzato con fattore di roll-off a=0,35. È possibile l'uso addizionale di un fattore di roll-off a=0,25 per le modulazioni 8PSK e 16QAM in modo da incrementare l'efficienza spettrale per quanto riguarda la larghezza di banda del transponder. Questa scelta è stata fatta dopo lunghe simulazioni al computer effettuate dal Centro Ricerche RAI, che tenevano conto anche degli effetti del TWTA del satellite.

5. Prestazioni del sistema DVB-DSNG su canale Gaussiano

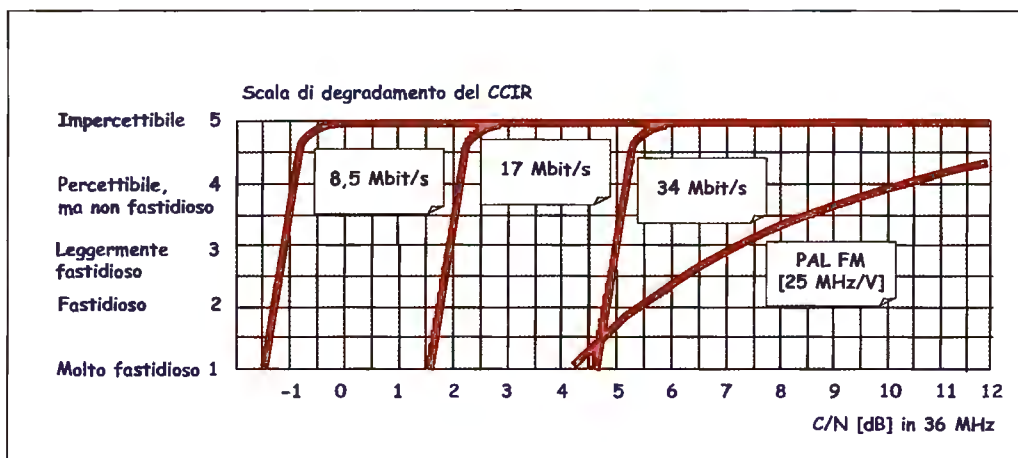
La sensibilità al rumore di trasmissione viene espressa dal rapporto segnale rumore E_b/N_0 richiesto per raggiungere un valore fissato di BER. E_b è l'energia utile per bit e N_0 è la densità spettrale del rumore gaussiano bianco (AWGN, Additive White Gaussian Noise). Il sistema DVB-DSNG è stato progettato per fornire segnale quasi privo di errori (QEF, Quasi Error Free), cioè caratterizzato da meno di un evento errore non corretto in un'ora di trasmissione all'ingresso del demultiplexer MPEG-2. Questo obiettivo, raggiungibile con la correzione degli errori tramite l'interallacciatore e il codice RS, corrisponde approssimativamente ad un BER di 2×10^{-4} all'uscita del decodificatore di Viterbi e ad una probabilità d'errore sul byte compresa tra 7×10^{-4} e 2×10^{-3}.

Bisogna notare che queste valutazioni considerano solo rumore stazionario e demodulazione ideale mentre gli effetti del rumore di fase e le instabilità del recupero della portante potrebbero generare burst di errori non correggibili separati da ampi intervalli di tempo. Poiché gli schemi di codifica DVB-DSNG non sono invarianti alle rotazioni (la scelta ha privilegiato schemi che permettessero di ottimizzare le prestazioni in termini di BER, anche perché nella maggior parte dei casi non erano disponibili schemi pragmatici invarianti alle rotazioni), nel progetto del sistema bisognerebbe dedicare molta attenzione allo sviluppo dei convertitori di frequenza ed ai sistemi di recupero di portante per evitare errori ciclici e salti di fase, che potrebbero portare ad interruzioni del servizio.

La tabella 1 mostra le specifiche di prestazioni IF del sistema per i differenti modi, in

Tabella 1
Prestazioni IF del sistema DSNG

Modulazione	Codice interno rate	Efficienza spettrale [bit/symbol]	Margini di implementazione del modem [dB]	Eb/N0 richiesto [dB] (BER = 2×10^{-4} dopo Viterbi)
	1/2	0,92	0,8	4,5
	2/3	1,23	0,8	5,0
QPSK	3/4	1,38	0,8	5,5
	5/6	1,53	0,8	6,0
	7/8	1,61	0,8	6,4
8PSK	2/3	1,84	1,0	6,9
(opzionale)	5/6	2,30	1,4	8,9
	8/9	2,46	1,5	9,4
16QAM	3/4	2,76	1,5	9,0
(opzionale)	7/8	3,22	2,1	10,7

Fig. 3 - Degradamento dell'immagine in funzione di C/N: TV numerica (QPSK-3/4) e analogica FM su un canale via satellite.

termini del rapporto segnale rumore E_b/N_0 necessario per fornire una BER pari a 2×10^{-4} dopo il decodificatore interno. I valori di E_b/N_0 sono riferiti al bit-rate utilizzabile R_u (formato 188 byte, prima della codifica RS), e tengono in conto del fattore 10 Log 188/204 ≅ 0,36 dB, dovuto al codice esterno RS, e dei margini di implementazione del modem. Per il QPSK i valori sono derivati da [6]. Per l'8PSK ed il 16QAM sono adottati margini di implementazione del modem che aumentano con l'efficienza spettrale per far fronte alla maggior sensibilità associata a questi schemi.

La robustezza contro il rumore della TV numerica (QPSK 3/4) e del PAL/FM analogico sul canale del satellite è mostrata in figura 3. Il peggioramento di qualità è espresso in termini di rapporto di potenza segnale/rumore C/N, assumendo come riferimento un ricevitore analogico con larghezza di banda B_{RX} pari a 36 MHz, che è tipica delle trasmissioni FM/TV via satellite con deviazione di frequenza di 25 MHz/V. Per avere un confronto corretto, il sistema numerico opera nella configurazione a "singolo segnale per transponder", e il rapporto C/N è misurato nella stessa larghezza di banda B_{RX} di 36 MHz come per il segnale analogico (deve essere considerato un peggioramento addizionale di circa 1 dB sul transponder):

$$C/N\ (dB) = E_b/N_0\ [dB] + 10\ \mathrm{Log}\ (R_u/\ B_{RX})$$

Dalla figura 3 si può vedere come un segnale DSNG a 17 Mbit/s, per fornire una qualità vicina a quella di contributo, richiederebbe un C/N di circa 3 dB per operare in modo QEF contro 12-13 dB richiesti dal PAL/FM analogico per ottenere una qualità dell'immagine accettabile. Se la velocità di trasmissione si riduce a 8,5 Mbit/s, che è quella richiesta per applicazioni DSNG con qualità PAL, il C/N richiesto si avvicinerebbe a 0 dB.

Grazie a queste prestazioni la soluzione numerica è quindi capace di mantenere in pratica la qualità dell'immagine e del suono della sorgente "compressa", fornendo quel margine adeguato contro l'attenuazione da pioggia che è richiesta da un attento progetto del link budget in modo da operare sopra la soglia della continuità del servizio.

6. Esempi di utilizzo del sistema

Una delle principali caratteristiche del sistema DVB-DSNG è la flessibilità, che permette di selezionare caso per caso la modulazione, la velocità di simbolo e la velocità di codifica in modo da ottimizzare le prestazioni del collegamento via satellite

(cioè l'occupazione spettrale sul transponder del satellite e le specifiche di potenza). D'altra parte per avere una buona interoperabilità e una rapida impostazione del collegamento in situazioni di emergenza, la specifica del DSNG richiede che almeno una installazione definibile dall'utente sia disponibile nella apparecchiatura DSNG. Tale impostazione include i parametri della codifica video/audio, lo schema di modulazione e la velocità di simbolo.

Le applicazioni DSNG solitamente sfruttano la larghezza di banda del satellite nella configurazione FDM, nonostante il sistema DSNG sia anche adattabile per trasmissioni a singola portante. Nelle configurazioni a singola portante la velocità di simbolo R_s può essere adattata alla larghezza di banda del transponder BW (a –3 dB), in modo da raggiungere la massima capacità di trasmissione compatibile con una degradazione accettabile del segnale dovuta alle limitazioni di banda del transponder. Per tenere in conto possibili instabilità dovute a temperatura o ad usura si deve far riferimento alla maschera della risposta in frequenza del transponder.

Nella configurazione FDM multiportante, R_s può essere adattato allo slot di frequenza BS allocato al servizio dal piano delle frequenze, per ottimizzare la capacità di trasmissione e nello stesso tempo mantenere l'interferenza mutua tra portanti adiacenti ad un livello accettabile.

La figura 4 mostra degli esempi di massimo bit-rate utilizzabile R_u dal sistema in funzione delle larghezze di banda allocate BW o BS. R_s corrisponde alla larghezza di banda a –3 dB del segnale modulato. R_s $(1+\alpha)$ corrisponde alla larghezza di banda teorica del segnale complessivo dopo il modulatore. In questi esempi i valori adottati di BW/R_s o BS/R_s sono $\eta=1+\alpha=1{,}35$ dove α è il fattore di roll-off della modulazione. Questa scelta permette di ottenere una degradazione trascurabile in termini di E_b/N_0, dovuta alle limitazioni di banda del transponder e anche all'interferenza da canali adiacenti su canale lineare. Più alti bit-rate possono essere raggiunti con il fattore di roll-off più stretto $\alpha=0{,}25$ (opzionale per 8PSK e 16QAM) e con BW/R_s o BS/R_s uguale a $\eta=1+\alpha=1{,}25$.

Rapporti di BW/R_s o BS/R_s diversi da $1+\alpha$ possono essere adottati per richieste di servizio differenti, ma l'uso di valori significativamente più bassi di $1+\alpha$ (ad es. $\eta=1{,}21$ associato con $\alpha=1{,}35$), per migliorare lo sfruttamento dello spettro, dovrebbero essere studiati attentamente caso per caso, dal momento che potrebbero sorgere gravi degradazioni delle prestazioni a causa delle

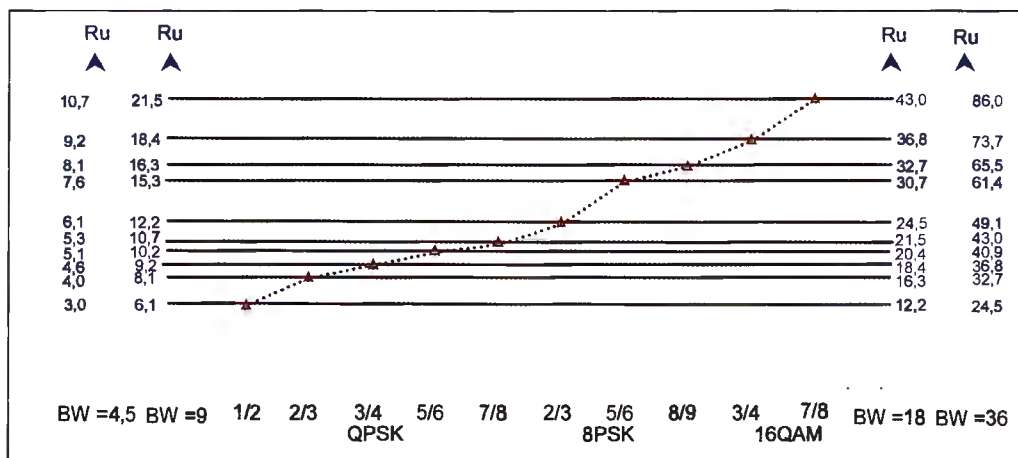



Fig. 4 - Capacità del sistema in funzione della banda disponibile.

Tabella 2
Esempi di configurazione del sistema, nel modo SCPT (Single Carrier Per Transponder)

Banda del Satellite BW (a -3 dB)	Configurazione del sistema	Velocità di simbolo R_S [Mbaud]	Bit Rate R_u (dopo il MUX) [Mbit/s]	E_b/N_0 (da norma) [dB]
36	QPSK 3/4	27,500	38,015	5,5
36	8PSK 2/3	27,500	50,686	6,9

limitazioni di banda e/o delle interferenze da canale adiacente, specialmente con modulazioni 8PSK e 16QAM e alte velocità di codifica (5/6 o 7/8).
La Tabella 2 mostra possibili esempi di uso del sistema nella configurazione a singola portante per transponder. Differenti configurazioni di modulazione/codifica sono riportate con i rispettivi bit-rate. In accordo alle tipiche applicazioni pratiche viene considerato un rapporto BW/R_S pari a 1,31 che offre un'efficienza spettrale lievemente migliore degli esempi di figura 4 per gli stessi schemi di modulazione/codifica. La larghezza di banda del transponder di 36 MHz è abbastanza ampia da permettere trasmissioni SCPC 422P@ML ad alta qualità, così come trasmissioni MCPC MP@ML e 422P@ML. Le modulazioni ad inviluppo quasi costante, come il QPSK e l'8PSK, sono efficienti in potenza nella configurazione per portante singola nel transponder, dal momento che possono operare su transponder vicini alla saturazione. Contrariamente, il 16QAM non è efficiente in potenza in questa configurazione, visto che può solo operare su transponder quasi lineari (cioè con alti Output-Back-Off, OBO). Inoltre, si deve tenere conto che l'uso del roll-off più stretto α=0,25 con la modulazione 8PSK può aumentare il degradamento non lineare del satellite.
Analogamente la Tabella 3 considera possibili esempi di uso del sistema nella configurazione FDM multiportante e nel modo SCPC. Differenti configurazioni di modulazione/codifica sono riportate con i rispettivi bit-rate. I valori di E_b/N_0 si riferiscono alla specifica IF ricezione QEF. Il degradamento totale dovuto alle distorsioni lineari, non lineari e per interferenza del satellite deve essere valutato caso per caso; valori tipici sono dell'ordine di 0,5 e 1,5 dB.
Sono state portate avanti valutazioni del

Tabella 3
Esempi di configurazione del sistema via satellite trasmissioni multiportante FDM, modo SCPC

Banda del Satellite BW [MHz]	Slot BS [MHz]	Numero di Slot in BW	Codifica Video	Modo di funzionamento del sistema	Velocità di simbolo [Mbaud]	BS/RS [Hz/Baud]	Bit Rate R_u [Mbit/s]	Eb/N0 [dB] (da norma)
36	9	4	MP@ML	QPSK 3/4	6,1113	1,47	8,4480	5,5
36	18	2	422P@ML	QPSK 7/8	13,3332	1,35	21,5030	6,4
36	12	3	422P@ML	8PSK 5/6	9,3332	1,28	21,5030	8,9
36	9	4	422P@ML	16QAM 7/8	6,6666	1,35	21,5030	10,7

link budget per stimare quali caratteristiche debbano avere le stazioni terrestri per garantire certi requisiti di continuità del servizio (ad esempio il 99,9% o il 99,6% dell'anno medio) in Italia, su un tipico satellite nella banda Ku con copertura europea per le tratte in salita e in discesa. Sono state considerate due locazioni rappresentative per l'up-link: (a) un caso tipico (Palermo, Zona climatica ITU K) ed un caso critico (Torino, zona climatica ITU L); per la ricezione si è ipotizzata la città di Roma (zona climatica ITU K).
Per poter paragonare in modo equo i risultati, i link budget sono stati ottimizzati per ogni collegamento, anche se è chiaro che per l'operazione in Italia dovrebbe essere scelta un'unica configurazione dei parametri di trasmissione, come il guadagno del satellite. Per applicazioni di tipo DSNG si è cercato di minimizzare la dimensione dell'antenna di up-link, trascurando l'eventualità di voler ricevere i segnali TV trasmessi attraverso il terminale DSNG. Per collegamenti di contributo, tra stazioni fisse, sono state considerate antenne di dimensioni equivalenti in trasmissione e ricezione, per permettere scambi bidirezionali di materiale televisivo.

Le caratteristiche di collegamento adottate sono le seguenti:

Terminali di Up-link:
- località: Torino (zona climatica ITU L), Palermo (zona climatica ITU K);
- frequenza: 14,29 GHz;
- efficienza d'antenna: 60%;
- perdite d'accoppiamento: 0,3 dB;
- perdite di puntamento: 0,3 dB;
- OBO: 2 dB per il QPSK e l'8PSK, 6 dB per il 16QAM.

Propagazione sulla tratta in salita:
perdite atmosferiche ed attenuazione da pioggia:
- 0,2+5,6 dB (Torino), 0,1+3,9 dB (Palermo) per il 99,9% dell'anno medio (a.y., average year):
- 0,2+2,9 dB (Torino), 0,1+2,0 dB (Palermo) per il 99,6% a.y.

Satellite:
- G/T(dB/°K): 4,3 (Torino), 3,6 (Palermo);
- IPFD (Isotropic Power Flux Density) per la saturazione (dal contorno a -0,5 dB/°K): variabile (valore nominale -80 dBW/m^2);
- EIRP trasmesso alla saturazione: 46,5 dBW (verso Roma);

Propagazione sulla tratta in discesa:
perdite atmosferiche ed attenuazione da pioggia su Roma:
- 0,1+2,4 dB per il 99,9% a.y.;
- 0,1+1,2 dB per il 99,6% a.y.

Stazione ricevente:
- località: Roma (zona climatica ITU K);
- frequenza: 10,99 GHz;
- efficienza d'antenna: 60%;
- perdite d'accoppiamento: 0,5 dB;
- perdite di puntamento: 0,5 dB;
- cifra di rumore LNB: 1,1 dB.

Il metodo di analisi del collegamento si basa sui valori della Tabella 1 (prestazioni IF del sistema) e su simulazioni al computer per stimare le perdite del margine di rumore dovute all'elemento non lineare, i livelli di potenza dei segnali all'ingresso e all'uscita e le interferenze di intermodulazione (C/I) tra segnali, seguendo il metodo di analisi semplificato descritto nell'Appendice A [10], [11]. È stato introdotto un margine addizionale per il collegamento di 1 dB, in modo da far fronte alla possibile imprecisione del metodo di analisi semplificato. Il bilanciamento dei parametri di collegamento è stato effettuato sulla base di un requisito di continuità di servizio (99,9% o 99,6% dell'anno medio) in pre-

senza di fading sull'up-link; successivamente è stata verificata la disponibilità di margini positivi sul collegamento con fading sul down-link (per la stessa disponibilità del servizio).

La Tabella 4 mostra i risultati di questa analisi per un transponder a 36 MHz. Dagli esempi della Tabella 4 si possono dedurre le seguenti considerazioni. Per le applicazioni DSNG, possono essere posizionati in un transponder a 36 MHz quattro segnali QPSK 3/4 a 8 Mbit/s (slot di frequenza di 9 MHz, vedere prima riga in Tabella 4). In questa configurazione, possono essere usati terminali di up-link fly-away molto piccoli, con EIRP nella gamma 56-59 dBW, e che usano antenne riceventi di 3 m. Quando è necessaria una qualità d'immagine più alta, come per MPEG-2 422P@ML a bit-rate di 21,5 Mbit/s, pur mantenendo piccola l'antenna del terminale di up-link DSNG (1,5 m), lo sfruttamento della larghezza di banda del satellite deve essere ridotto da quattro a due segnali FDM (riga 2 in Tabella 4). Questa configurazione richiede un'antenna ricevente più grande (4 m). Usando segnali 8PSK 5/6 (righe 3 e 4 in Tabella 4), tre o quattro portanti possono occupare il transponder del satellite, mettendo a disposizione, rispettivamente, bit-rate di circa 20 e 15 Mbit/s. Tali configurazioni richiedono stazioni DSNG grandi montate su veicoli (diametro d'antenna di 2,4 m) e grandi antenne riceventi (diametro di 6 m). Risultati significativamente migliori, in termini di diametri d'antenna richiesti, si possono ottenere usando satelliti con coperture di up-link minori (ad esempio nazionali invece che europee), che dotati di più grandi G/T, direttamente migliorano le prestazioni di up-link.

Per collegamenti fissi di contributo, sono spesso richiesti alti bit-rate (segnale video MPEG-2 422P@ML) e alta efficienza spettrale. Negli esempi della Tabella 4 (righe 5 e 6), quattro segnali 16QAM a 18,4 o a 21,5 Mbit/s sono allocati in slot di frequenza di 9 MHz, usando grandi stazioni

Tabella 4
Esempi d'uso del sistema DSNG e applicazioni di contributo
N segnali numerici in FDMA in un trasponder da 36 MHz

Segnali			Terminale di UP-LINK						Satellite		Stazione RX		
N	Bit-rate utile [Mbit/s]	Modulazione & codifica	N	Target di disponibilità del servizio (A) %	Tipologia di servizio	Zona climatica ITU	Potenza HPA (B) [W]	Diametro d'antenna [m]	EIRP (C) [dBW]	IPFD (D) [dBW/m²]	IBO (E) per portante [dB]	OBO (E) totale [dB]	Diametro d'antenna [m]
1	8,448	QPSK	4	99,9	DSNG	L	110	0,9	58,5	-84	15,7	4,2	3
		3/4			flyaway	K	70		56,5	-87	15,2	3,9	
2	21,50	QPSK	2	99,9	DSNG	L	100	1,5	62,5	-82	13,7	3,7	4
		7/8			Veicolo	K	70		61,0	-86	11,8	2,7	
3	20,48	8PSK	3	99,9	DSNG	L	230	2,4	70,2	-70	18,0	6,6	6
		5/6			Veicolo	K	90		66,1	-74	18,6	7,1	
4	15,357	8PSK	4	99,9	DSNG	L	300	2,4	71,4	-68	18,9	6,8	6
		5/6			Veicolo	K	75		65,3	-74	19,4	7,2	
5	18,43	16QAM	4	99,9	Fisso	L	250	7	75,9	-62	20,4	8,0	7
		3/4			Contrib.	K	60	6	68,3	-71	19,4	7,3	6
6	21,50	16QAM	4	99,6	Fisso	L	60	8	70,8	-67	20,4	8,1	8
		7/8			Contrib.	K	70	7	70,3	-68	20,4	8,1	7

(A) percentuale dell'anno medio; con fading sull'up-link; (B) alla saturazione;
(C) per OBO=2 dB (QPSK e 8PSK), 6dB (16QAM; (D) IPFD per up-link al confine a -0,5 dB/°K; (E) Nominale a cielo chiaro

trasmittenti e riceventi (antenne da 6 a 8 m). A 21,5 Mbit/s, a causa delle specifiche di alto C/N+I del 16QAM a rate 7/8, viene accettata una disponibilità di servizio lievemente ridotta per mantenere i diametri d'antenna ad un livello accettabile.
Bisogna notare che nei tipici ambienti operativi l'ottimizzazione dell'impostazione del guadagno del transponder (vedere "IPFD alla saturazione" in Tabella 4) è limitata a circa ± 3dB rispetto all'impostazione di guadagno nominale, in modo da mantenere bilanciati i livelli di potenza di up-link nei transponder cross-polari ed evitare gravi problemi di interferenza nell'up-link. Tuttavia, negli esempi dati è stato permesso un adattamento significativamente più ampio (nella gamma che va da +7 a –19 dB), che richiede un attento controllo dell'interferenza da parte dell'operatore del satellite. Ciò è necessario con le modulazioni di alto livello che richiedono alti rapporti C/N+I nell'up-link e una buona linearità del transponder.

7. Conclusioni

Il sistema DVB-DSNG offre vantaggi significativi in termini di qualità dell'immagine (codifica MPEG-2 con formato dell'immagine 4:2:0 e 4:2:2), flessibilità di modulazione/codifica e rapide impostazioni del collegamento di up-link per le applicazioni DSNG.
Grazie alla sua flessibilità esso permette di raggiungere i compromessi richiesti tra robustezza contro rumore e interferenza ed efficienza spettrale. Per esempio in un tipico satellite europeo possono essere allocati da uno a quattro segnali numerici TV in un transponder con larghezza di banda di 36 MHz, in FDM. I risultati del link budget indicano che, usando la modulazione QPSK, possono essere instaurati servizi DSNG a 8 Mbit/s con piccoli terminali fly-away che usano diametri d'antenna di 0,9 m. Quando è richiesta una qualità d'immagine più alta (cioè da 15 a 21 Mbit/s), usando modulazioni QPSK o 8PSK, possono essere stabiliti servizi DSNG tramite terminali montati su veicoli (diametri d'antenna fra 1,5 – 2,4 m). Nel caso di collegamenti fissi di contributo ad alti bit-rate (cioè da 18 a 21 Mbit/s), può essere scelta la modulazione 16QAM per aumentare lo sfruttamento del segmento di spazio, pagando il prezzo di una dimensione maggiore delle antenne trasmittenti/riceventi (cioè diametri da 6 a 8 m).
Globalmente si può quindi dire che il nuovo standard DSNG rappresenta un significativo passo avanti nei collegamenti DSNG e di contributo fissi via satellite.

Ringraziamenti
Gli autori desiderano ringraziare l'ing. Mauro Icovi per i preziosi suggerimenti nella definizione dei requisiti di servizio.

Bibliografia

1 – ETS 300 174: *Network Aspects, Digital Coding of component television signals for contribution quality applications in the range 34-45 Mbit/s*

2 – ETS 300 421: *Digital broadcasting systems for television, sound and data services; Framing structure, channel coding and modulation for 11-12 GHz satellite services*, March 1996.

3 – M. Cominetti, A. Morello, M. Visintin: *Digital Multi-programme TV/HDTV by satellite*, "EBU Technical Review", No. 256, summer 1993.

4 – M. Cominetti, R. Vitalone: *Satellite News Gathering (SNG) – The digital solution*, "ASBU/ITU Symposium", Hammamet, 23-25 October 1996

5 – EN 301 210: DVB: *Framing structure, channel coding and modulation for DSNG and other contribution applications by satellite*

6 – EN 301 222: DVB: *Co-ordination Channels associated with Digital Satellite News Gathering (DSNG)*

7 – Barbero e altri: *Towards Digital Production and Storage of Compressed Video: How to Find the Right Path?*, "Broadcast Asia '96 Conference Records"

8 – A. Viterbi e altri: *A pragmatic approach to trellis-coded modulation*, "IEEE Comm. Magazine", July '89

9 – ISO/IEC 13818-1: *Coding of moving pictures and associated audio*

10 – A. Morello, M. Visintin: *Transmission of TC-8PSK digital television signals over Eurovision satellite links*, "EBU Technical Review", N.269, Autumn 1996

11 – A. Morello, V. Mignone: *The new DVB standard for Digital Satellite News Gathering*, "IBC'98 Conference", September 1998

Appendice A
Metodo di analisi semplificato

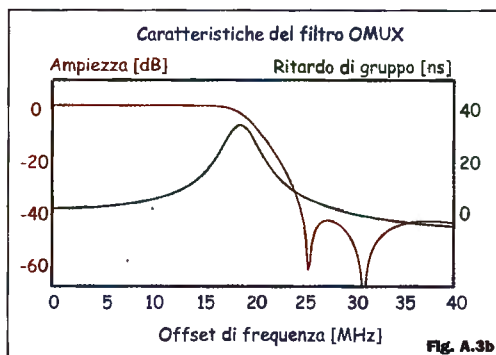
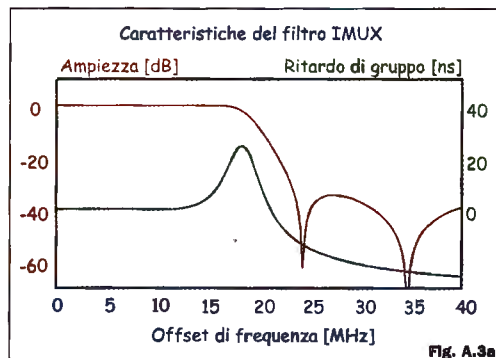
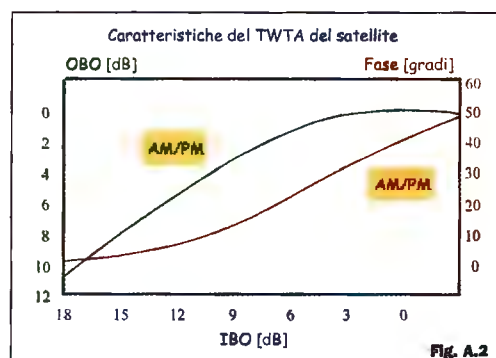
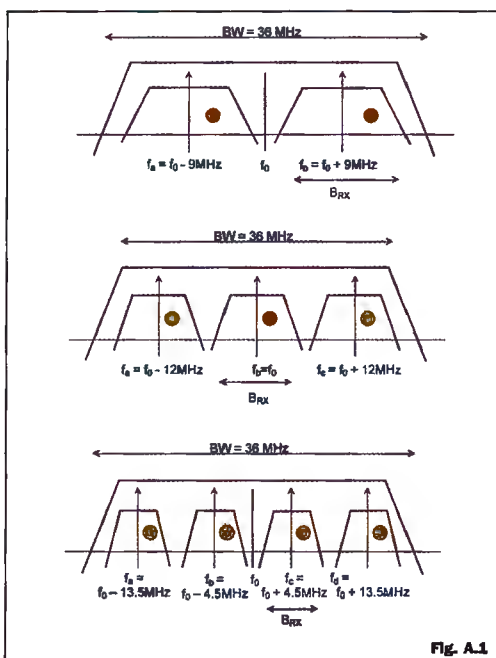
Per poter effettuare una stima di massima delle prestazioni del sistema DSNG in condizioni operative differenti (come potenza in trasmissione, punto di funzionamento dell'amplificatore sul satellite, densità spettrali di potenza del rumore, ecc.), senza dover effettuare lunghe simulazioni al calcolatore, è stato elaborato un metodo di analisi semplificato [10]. È stata definita una suddivisione nominale della banda allocata di 36 MHz rispettivamente di 18 MHz nel caso di FDM con due portanti sul transponder, 12MHz nel caso di tre e 9 MHz nel caso di quattro. Il metodo analizza il segnale indicato come *b* in figura A.1, che rappresenta il segnale centrale nella configurazione a tre portanti ed il secondo segnale nelle altre due configurazioni.

Le figure A.2 e A.3 mostrano rispettivamente le caratteristiche AM/AM e AM/PM del TWTA, e la risposta in frequenza dei filtri IMUX (Input MUltipleXer) e OMUX (Output MUltipleXer) del satellite (OMUX), adottati nelle simulazioni. La banda totale

Fig. A.1 - Configurazione FDM in un transponder da 36 MHz nel caso di due, tre e quattro portanti.

Fig. A.2 - Caratteristiche simulate AM/AM e AM/PM del TWTA.

Fig. A.3a - Caratteristiche simulate di ampiezza e ritardo del gruppo dei filtri IMUX e OMUX. Filtro IMUX.

Fig. A.3b - Caratteristiche simulate di ampiezza e ritardo del gruppo dei filtri IMUX e OMUX. Filtro OMUX.

del transponder del satellite è di 36 MHz (a –3dB) ed il ritardo di gruppo agli estremi della banda di circa 50-60 ns.

In figura A.4 vengono riportate le curve di OBO_b (il back-off in uscita del segnale *b* rispetto alla potenza di saturazione del transponder) in funzione di IBO_b (il back-off in ingresso del segnale *b* rispetto alla potenza di saturazione del transponder), per diversi valori del back-off in ingresso dei segnali interferenti $IBO_{a,c,d}$. I risultati, ottenuti mediante simulazioni al calcolatore, si riferiscono alle tre possibili configurazioni analizzate con due, tre o quattro segnali nel transponder. I segnali interferenti sono stati modulati con un segnale QPSK, mentre il segnale desiderato era rappresentato da una portante non modulata (figura A.5); ciò per poter misurare la potenza utile ricevuta utilizzando un filtro a banda stretta (200 kHz) centrato sul segnale *b*, ed eliminare l'interferenza dagli altri segnali.

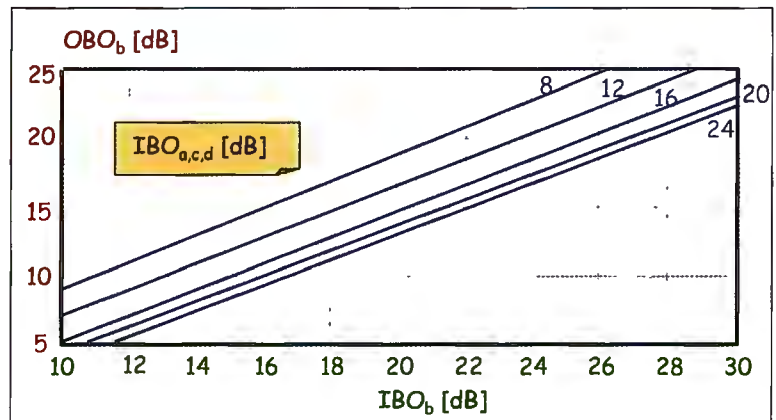
La figura A.4 mostra il caso con N=4. In prima approssimazione, i casi con N=2 ed N=3 possono essere derivati dalla figura A.4, mediante la formula di conversione:

$$OBO_b(N)=OBO_n(4)+10\cdot\log_{10}(N/4).$$

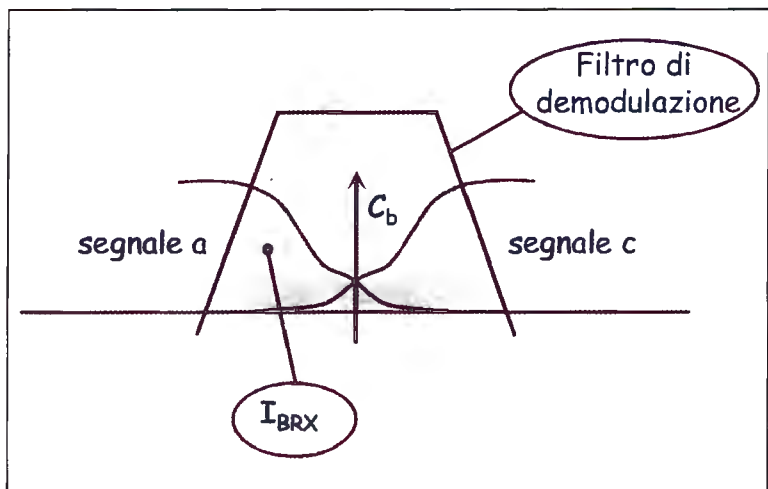
Le modulazioni 8PSK e 16QAM danno approssimativamente gli stessi risultati, che quindi non sono stati riportati.

Nel metodo di analisi semplificato sono state considerate le seguenti fonti di degradamento sul collegamento:

- **Rumore Gaussiano**: Trascurando la compressione del rumore sul TWTA del satellite, si assume che il rumore sulla tratta in salita ed in discesa del collegamento abbiano lo stesso effetto sulla probabilità d'errore del sistema a parità di potenza, e che le potenze possano essere liberamente sommate.

Fig. A.4 - OBO_b in funzione di IBOb per diversi valori di $IBO^{a,b,c}$, nel caso di 4 segnali per transponder (ricavati mediante simulazione al calcolatore.

- **Interferenza (intermodulazione) da segnali adiacenti in FDM**: Assumendo che la spaziatura tra le portanti sia maggiore della banda totale, compreso il roll-off, l'interferenza mutua tra i segnali sulla tratta in salita del collegamento quasi lineare è trascurabile.

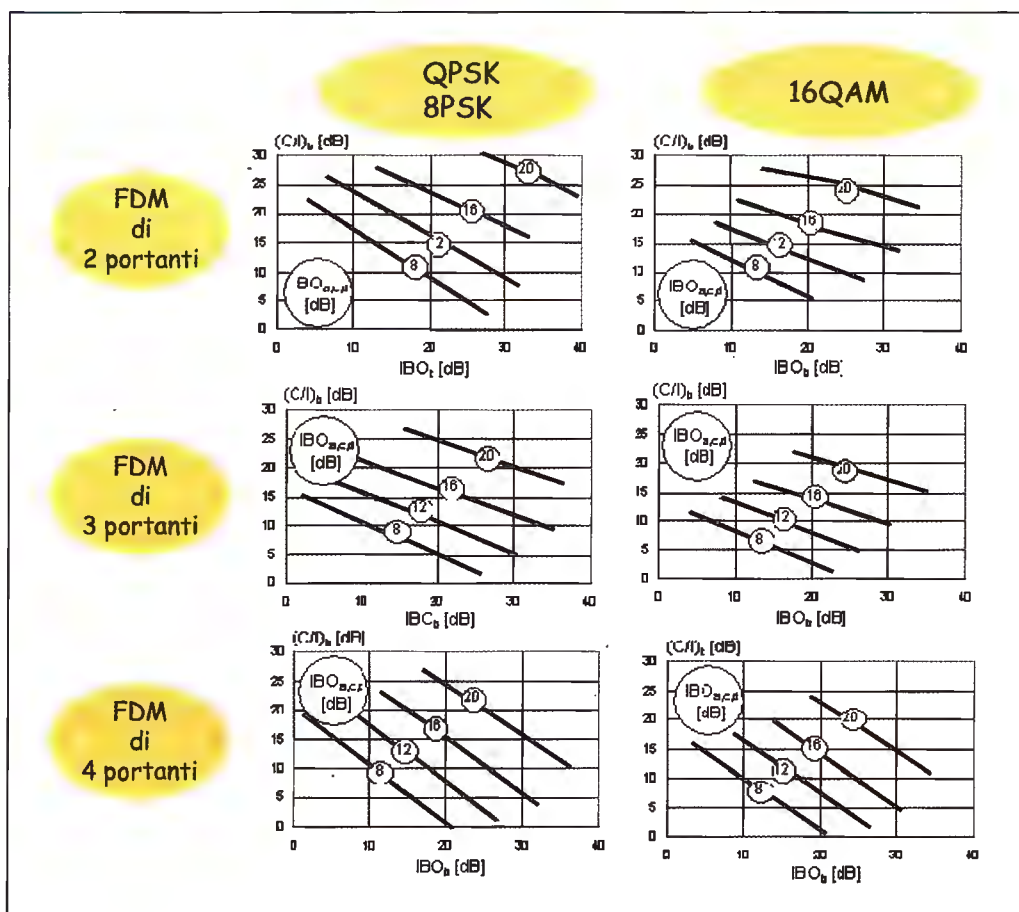
Sulla tratta in discesa, si assume che l'interferenza abbia effetti sul collegamento simili al rumore e che interferenza e rumore siano sommabili. In altre parole si assume che un segnale interferente di potenza I_{BRX} (nella banda del ricevitore) dia origine ad uno stesso valore di BER di un rumore gaussiano di

Fig. A.5 - Misura della potenza interferente I_{BRX} nel filtro di demodulazione.

uguale potenza (cioè $N_{BRX}=I_{BRX}$). Questa approssimazione trascura il fatto che l'inviluppo dei segnali di intermodulazione non è gaussiano e che è correlato con il segnale stesso. Da notare che i contributi di rumore ed interferenza devono essere calcolati e sommati dopo essere stati filtrati dal filtro di ingresso del ricevitore (con banda equivalente di rumore B_{RX} uguale al symbol rate R_s). Un problema pratico sta nel valutare la potenza interferente (I_{BRX}) senza rimuovere il segnale utile e modificare il punto di lavoro del satellite. Nelle simulazioni, si sono considerati segnali interferenti modulati e segnale utile non modulato (figura A.5).

La potenza interferente è stata misurata filtrando il segnale con un filtro elimina-banda, centrato alla frequenza della portante non modulata e con banda di ricezione 200 kHz. Il parametro C_b corrisponde alla potenza di saturazione del TWTA attenuata di OBO_b. La figura A.6, ottenuta mediante simulazioni al calcolatore, mostra le curve di $(C/I)_b$ per il segnale desiderato *b* in funzione di IBO_b, per diversi valori di $IBO_{a,c,d}$ degli altri segnali, valutate per le diverse configurazioni FDM e modulazioni.

- **Interferenza intersimbolica:**

L'interferenza intersimbolica (Inter-Symbol Interference, ISI) prodotta dall'elemento non lineare del TWTA dipende dal punto di lavoro (IBO), funzione non solo della potenza del segnale stesso, ma anche dagli altri segnali mescolati nel transponder. Nel metodo di

Fig. A.6 - Curve di (C/I)b verso IBOb, per diversi valori di $IBO_{a,c,d}$ (risultati di simulazione).

analisi semplificato, si assume che il degradamento dovuto all'ISI nella configurazione FDM sia pari a quello ottenibile nella configurazione a singolo segnale, per lo stesso IBO totale (rappresentato dalla somma delle potenze di segnale in ingresso). Nel caso di una singola portante, la perdita di margine di rumore D_{ISI} rispetto al canale AWGN tende a 0 dB per alti valori del back-off (TWTA quasi lineare), e cresce in maniera diversa a seconda della modulazione e dello schema di codifica spostando il punto di funzionamento del TWTA verso la saturazione. In figura A.7 sono riportate le curve della perdita di margine di rumore D_{ISI} rispetto al canale AWGN per tre schemi rappresentativi DSNG. Dal momento che la variazione di D_{ISI} con il rapporto di codifica è piccola (decimi di dB per i punti di lavoro tipici dei TWTA nelle configurazioni FDM), nel calcolo dei link budget sono state utilizzate le curve di figura A.7 per ogni rapporto di codifica.

- **Interferenza da segnali numerici cocanale cross-polarizzati**: Si assume che l'interferenza da segnali numerici cocanale in polarizzazione incrociata abbia effetti simili sulle prestazioni del sistema di un rumore gaussiano di uguale potenza nel filtro di ricezione. Quando il transponder cross-polarizzato trasporta la stessa configurazione di segnale del transponder desiderato, la potenza interferente (I) è uguale alla potenza voluta (C) attenuata dalla discriminazione di cross-polarizzazione d'antenna (Cross Polar Discrimination, XPD): C/I = XPD. Negli esempi di Tabella 4, l'interferenza cross-polare non è stata considerata.

Il metodo di analisi semplificato descritto in questa Appendice somma tutti i contributi di potenza interferente, intermodulazione e rumore (valutati nella banda di ricezione) e valuta il C/(N+I) disponibile sul satellite, e lo paragona con il C/(N+I)

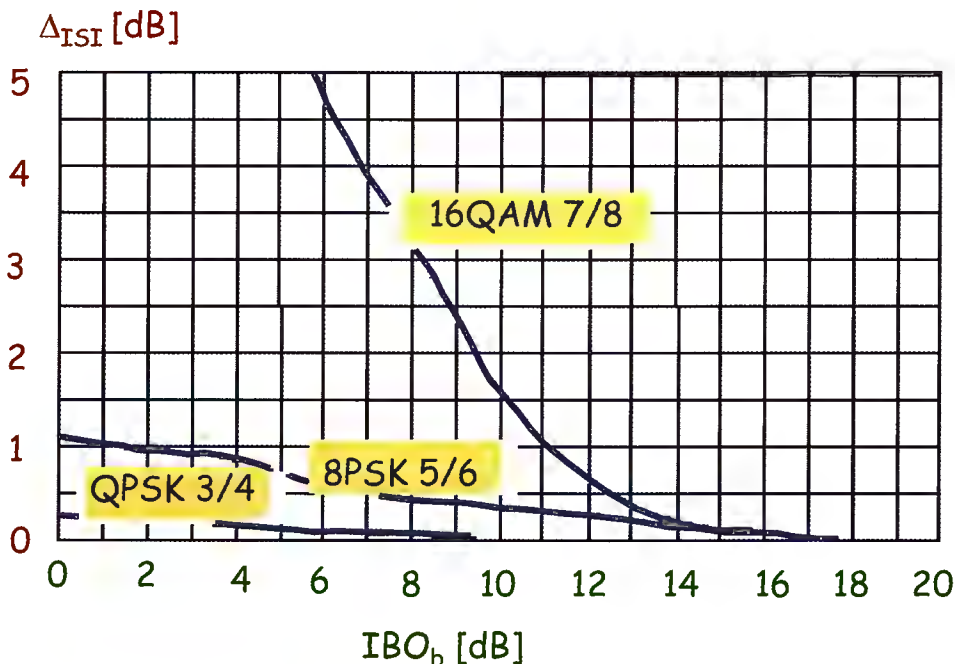



Fig. A.7 - Perdita sul margine di rumore Δ_{ISI} dovuto all'interferenza intersimbolica sul satellite in funzione del punto di lavoro.

richiesto dallo schema di modulazione per ottenere un BER di $2 \cdot 10^{-4}$. La continuità e la qualità del servizio è garantita quando C/(N+I)(disponibile)>C/(N+I)(richiesto) La procedura di calcolo nel dettaglio è riassunta in Tabella A.1.

Tabella A1
Metodo di analisi semplificato

Passo	Cosa valutare:	Formule, Costanti & Figure da usare
	Valutazione del C/(N+I) richiesto nella banda di rumore B_{RX}	
1	E_b/N_0 richiesto sul canale AWGN per BER=2◊10^{-4}	Dalla Tabella 1 (anello IF) + 1 dB di margine per tenere conto di possibili imprecisioni del metodo semplificato
2	IBO_{tot}	Somma delle potenze in ingresso al TWTA, normalizzate rispetto al punto di saturazione
3	perdita di margine di rumore dovuta all'ISI sul TWTA funzionante ad IBO_{tot}	Dalla figura A.7
4	E_b/N_0 richiesto dal satellite ad IBO_{tot}	Da 1 e 3
5	C/(N+I) richiesto dal satellite nella banda B_{RX}	C/(N+I) (richiesto)= E_b/N_0 +10 Log(R_u/B_{RX})
	Valutazione del C/(N+I) disponibile nella banda di rumore B_{RX}	
6	OBO_b verso IBO_b, $IBO_{a,c,d}$	dalla figura A.4
7	C/N_u e C/N_d disponibili in B_{RX}, dati IBO_b e OBO_b	$E_b/N_{0,u} = EIRP_u - A_u - L_u - PL_u - AL_u + G/T_s - k - R_u$ $E_b/N_{0,d} = EIRP_{sat} - OBO_b - A_d - L_d - PL_d - AL_d + G/T_{RX} - k - R_u$ $C/N_u = Eb/N_{0,u} + 10\ Log(R_u/B_{RX})$ $C/N_d = Eb/N_{0,d} + 10\ Log(R_u/B_{RX})$ dove: k = costante di Boltzman A = attenuazione da pioggia L = attenuazione in spazio libero PL = perdite di puntamento AL = attenuazione atmosferica Nota: il pedice "u" si riferisce all'up-link, "d" al down-link, "s" al satellite
8	$C/I_d(b)$ (intermodulazione) in B_{RX} a $IBO_{a,b,c}$	Dalla figura A.6
9	$C/(N_u+N_d+I_u+I_d)$ disponibile	Da 7 e 8
	La qualità del servizio è garantita se C/(N+I) (disponibile) > C/(N+I) (richiesto)	

Una nuova soluzione per la distribuzione di segnali DVB negli impianti centralizzati d'antenna

M. Cominetti, A. Polo, V. Sardella*

* dr. Mario Cominetti, Rai Radiotelevisione Italiana, Strategie Tecnologiche, Consulente ing. Andrea Polo, Fracarro Radioindustrie, Castelfranco Veneto (TV), ing. Vincenzo Sardella, Rai Radiotelevisione Italiana, CRIT – Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 20 dicembre 2000

L'articolo esamina brevemente le principali caratteristiche dei sistemi SMATV per la distribuzione agli utenti finali dei servizi digitali nello standard DVB tramite gli impianti centralizzati d'antenna. Viene proposto un nuovo approccio per la implementazione del Sistema SMATV A, basato sull'allocazione a ciascun terminale d'utente di un canale RF della rete di distribuzione in cavo (8 MHz) per la distribuzione del segnale del transponder selezionato tramite un "transmodulatore individuale" QPSK-QAM. Il transmodulatore è installato al centralino ed è controllato in modo

1. Introduzione

La ricezione comunitaria di segnali televisivi e sonori, diffusi dai trasmettitori terrestri o da satelliti, rappresenta un modo importante di distribuire i segnali all'utente finale, particolarmente nei paesi dell'Europa meridionale (Italia, Spagna, Portogallo), dove più del 50% degli utenti è connesso ad un impianto centralizzato d'antenna. Secondo una indagine statistica condotta dal progetto europeo S3M [1], la ricezione comunitaria dei segnali televisivi e radiofonici presenta una penetrazione del 27% nell'Europa occidentale, corrispondente a 37 milioni di utenti. La stima per tutta l'Europa è di 54 milioni di utenti.

I sistemi SMATV (Satellite Master Antenna TV), conosciuti anche come impianti centralizzati d'antenna e impianti collettivi o domestici, sono definiti come "reti per la distribuzione di segnali televisivi e sonori ad unità abitative situate in uno o più edifici vicini" [2]. I segnali, ricevuti da satellite, possono essere combinati con segnali terrestri. I sistemi MATV (Master Antenna Television) sono sistemi di distribuzione simili, usati principalmente per i segnali terrestri, tipicamente nell'intervallo di frequenze 40÷862 MHz in Europa.

L'importanza strategica della ricezione SMATV per una rapida diffusione dei servizi televisivi digitali da satellite è ben nota [3]. Tuttavia, l'esperienza acquisita fino ad ora in alcune nazioni ha mostrato che la penetrazione della televisione digitale tramite gli impianti centralizzati d'antenna è stata meno promettente del previsto, a causa soprattutto di problemi di natura economica per il fatto che il numero di utenti interessati ai nuovi servizi è generalmente inferiore al numero complessivo di utenti allacciati all'impianto centralizzato. Questo, in particolare, è il caso degli attuali impianti, i quali richiedono una qualche forma di adeguamento tecnologico per la ricezione dei segnali diffusi dai satelliti. In questo caso i costi per l'adeguamento del sistema non possono essere ripartiti uniformemente, con penalizzazione per i potenziali utenti.

Al fine di superare questi problemi, l'articolo propone una nuova soluzione per la distribuzione dei segnali digitali negli impianti SMATV. Il nuovo approccio è basato sulla assegnazione a ciascun utente di un "*transmodulatore individuale*" instal-

A NEW SOLUTION FOR THE DISTRIBUTION OF DVB SIGNALS VIA COMMUNITY INSTALLATIONS - The paper briefly highlights the basic features of the SMATV (Satellite Master Antenna TV) systems for the distribution of digital services in the DVB-ETSI standard to the end users. A new approach is described for the implementation of SMATV System A, based on the allocation to each user of an RF channel on the cable distribution network (e.g. 8 MHz) for the delivery of the digital services of the selected satellite transponder through a QPSK to QAM "individual transmodulator". The transmodulator is installed in the head-end unit and is remotely controlled from the user's terminal through a "Control Channel", which implements a two-way communication link via the same cable network. This new solution offers economical benefits, particularly in the case of small and medium size installations, and allows each single user to autonomously decide on the possibility to access the digital satellite services. The new approach was first discussed by the S3M ACTS Project and is now considered by DVB-TM

lato al centralino e comandato dal terminale d'utente tramite un "*Canale di Controllo*", su cui viene instaurata una comunicazione bidirezionale.
La nuova soluzione, descritta nell'articolo, offre benefici di natura economica rispetto ai sistemi convenzionali ed è particolarmente efficace nella fase di introduzione dei nuovi servizi digitali, quando il numero di utenti dell'impianto centralizzato che desiderano ricevere i nuovi servizi è ancora limitato.

2. I sistemi SMATV

Gli impianti centralizzati d'antenna (o sistemi SMATV/MATV) sono composti da tre blocchi funzionali: il sistema di antenne, il centralino e la rete di distribuzione interna all'edificio. I sistemi relativi ai segnali digitali, normalizzati in passato dal DVB (Digital Video Broadcasting) e dall'ETSI (European Standard Telecommunication Institute), sono i seguenti:

- Sistema A: Transmodulazione dalla modulazione satellite QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) tipica del sistema DVB-S ad un formato QAM (Quadrature Amplitude Modulation) utilizzando sia una implementazione completa del sistema DVB-C, sia un processo semplificato senza demultiplazione o interfacciamento in banda base.
- Sistema B: Distribuzione diretta dei segnali satellite in modulazione QPSK in una banda di frequenze adatta alle caratteristiche della rete di distribuzione in cavo (1ª FI satellite e/o banda S estesa)

Ambedue gli approcci sono basati su soluzioni compatibili che assicurano la interoperabilità tra i diversi mezzi trasmissivi (satellite e cavo) e la migliore utilizzazione delle esistenti infrastrutture di distribuzione. Ciononostante, l'adeguamento tecnologico delle attuali installazioni, che furono progettate per la distribuzione di segnali analogici terrestri nella banda 47÷862 MHz, può presentare aspetti critici [4].

2.1 Transmodulazione da QPSK a QAM

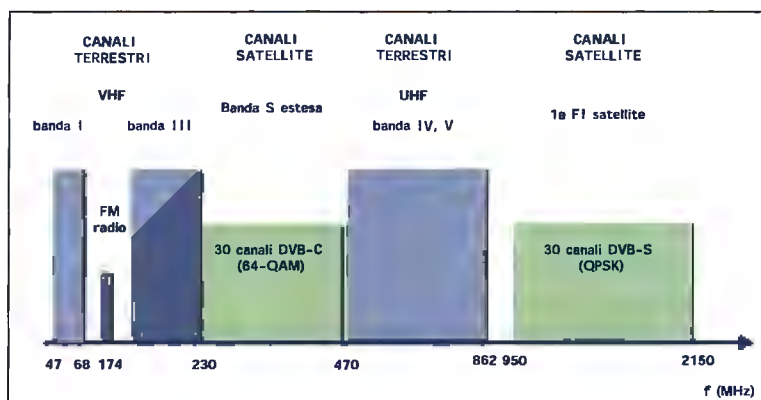
L'utilizzo di segnali con modulazione QAM, allocati in canalizzazione da 8 MHz tipica dei cavi, richiede un centralino complesso con moduli transmodulatori, chiamati TDT (Transparent Digital Transmodulator), per ciascun transponder satellite. Generalmente l'impianto di distribuzione non necessita di adeguamento tecnologico, purché sia disponibile una capacità sufficiente per la introduzione di nuovi canali. Nella banda S estesa (230÷470 MHz) sono disponibili 30 canali generalmente non occupati nelle attuali installazioni. L'utente deve equipaggiarsi con un ricevitore di tipo cavo.
Nel processo di transmodulazione da QPSK a 64-QAM, eventuali errori introdotti nel segmento satellite vengono corretti, di modo che segnali "error free" sono distribuiti nella rete in cavo.

2.2 Distribuzione diretta di segnali QPSK

I segnali satellite, in modulazione QPSK, vengono distribuiti al ricevitore d'utente (di tipo satellite) senza nessun processo di demodulazione e rimodulazione al centralino. Fino a circa 30 transponder satellitari (cioè lo stesso numero di canali QAM che trovano posto nella banda S estesa), possono essere distribuiti nella banda della 1ª FI satellite (950÷2150 MHz). Questa soluzione riduce la complessità del centralino, al prezzo di un maggior costo della rete di distribuzione, in cui devono venir utilizzati componenti (divisori, cavi, prese, ...) idonei per lavorare a frequenze elevate.
L'adozione della tecnica "multi-switch" può essere utilizzata per aumentare ulteriormente la capacità della rete di distribu-

remoto dal terminale d'utente per mezzo di un "Canale di Controllo" che realizza un canale di comunicazione bidirezionale sulla stessa rete in cavo. Questa nuova soluzione offre benefici di natura economica nel caso di installazioni medie e piccole, e permette ad ogni singolo utente di decidere autonomamente sulla possibilità di ricevere servizi digitali da satellite. Il nuovo approccio è stato discusso dal Progetto europeo S3M (ACTS) ed è ora all'esame presso il DVB.

Fig. 1 - Possibile allocazione dei canali nei sistemi SMATV.

Fig. 2 - Implementazione corrente del Sistema SMATV A.

zione, oltre il limite dei 30 transponder.
Il degradamento del segnale alla presa d'utente è dovuto all'effetto cumulativo del rumore e delle interferenze sul segmento satellite e delle distorsioni lineari e non-lineari introdotte dalla installazione SMATV. Questo ulteriore degradamento, tipicamente dell'ordine di 1÷4 dB, può essere superato aumentando opportunamente il diametro dell'antenna ricevente.
La figura 1 riporta una possibile allocazione dei canali nei sistemi SMATV, relativamente alle due opzioni presentate.

3. La soluzione proposta

L'adozione di un Canale di Controllo tra il transmodulatore individuale ed il terminale d'utente rappresenta una soluzione efficiente e commercialmente praticabile. Questo è particolarmente vero nel caso del Sistema A, in cui il numero di modulatori QAM installati al centralino è proporzionale al numero di servizi (DVB MPEG-2 Transport Streams / multiplex) distribuiti nella rete, e non al numero di utenti nell'abitazione (figura 2).
Inoltre, nella implementazione corrente del Sistema A, in alcune nazioni, la ridotta disponibilità di canali liberi nella rete in cavo può limitare il numero di servizi distribuiti all'utente.
Il nuovo approccio è basato sulla allocazione a ciascun terminale d'utente di un canale RF della rete di distribuzione in cavo (8 MHz), che distribuisce il segnale del transponder selezionato tramite un "**transmodulatore individuale**" QPSK-QAM.
Il transmodulatore è installato al centralino ed è controllato dall'utente in modo remoto tramite un "**Canale di Controllo**", basato su un collegamento bidirezionale tra il transmodulatore individuale ed il terminale d'utente (figura 3).
La soluzione proposta consente il riutilizzo degli esistenti impianti centralizzati

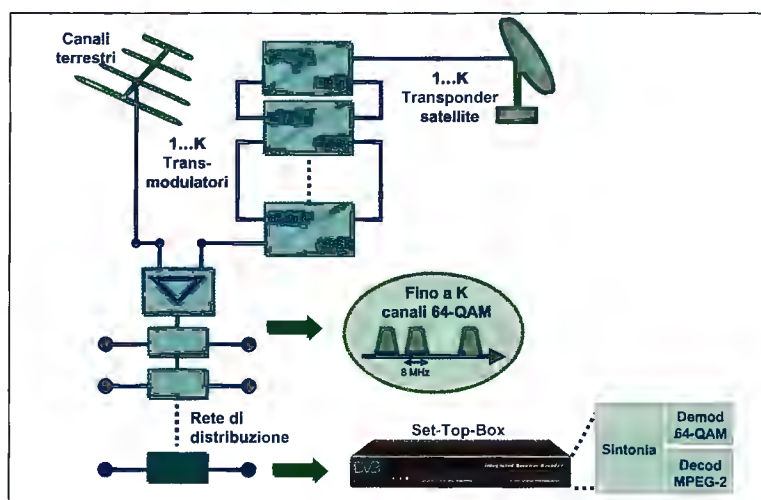
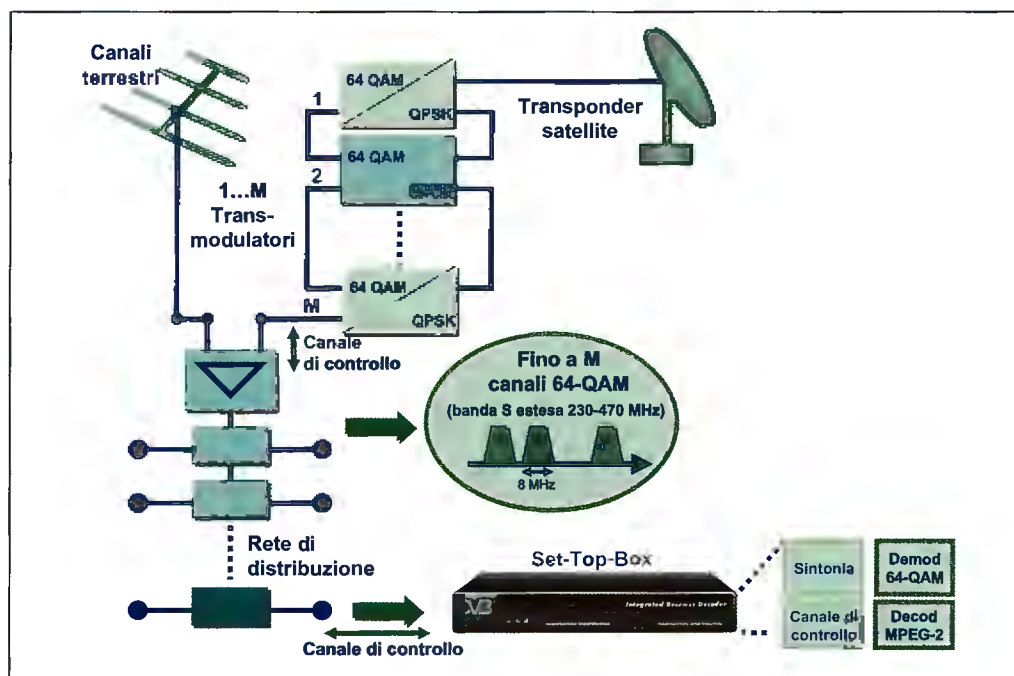



Fig. 3 - Approccio di base del nuovo sistema SMATV con Canale di Controllo.

d'antenna per la distribuzione dei servizi digitali da satellite e mantiene tutti i vantaggi inerenti alla transmodulazione. La distribuzione di segnali 64-QAM nelle attuali installazioni SMATV/MATV è stata realizzata con successo, confermando la efficacia dell'approccio con transmodulazione [3], [4].

L'adozione del Canale di Controllo offre una soluzione alternativa all'implementazione del Sistema A, in cui il numero di Transport Stream/multiplex DVB forniti all'utente non è più limitato dalla banda disponibile nella installazione SMATV.

Inoltre, questo nuovo approccio permette all'utente di accedere ai canali satellitari, resi disponibili al centralino, tramite una ricezione "virtualmente" individuale, dove la connessione tra il terminale d'utente ed il transmodulatore è completamente trasparente. Il numero di canali satellite accessibili può essere aumentato semplicemente adeguando la configurazione (di ricezione ?) del centralino.

Il sistema A nella sua attuale implementazione, invece, implica l'utilizzo dello stesso numero di transmodulatori rispetto al numero di transponer satellitari resi disponibili al centralino, indipendentemente dal numero di utenti.

La soluzione Canale di Controllo è soprattutto adatta a piccole e medie installazioni, dal momento che il numero di utenti è limitato dal numero di canali RF disponibili nell'installazione, cioè fino a 30 canali RF (8 MHz) nella banda S estesa.

Gli apparati che implementano la soluzione Canale di Controllo (transmodulatore individuale e Set-Top Box) dovranno in ogni caso essere capaci di operare nel modo convenzionale, di modo che, quando è economicamente più efficace, possa essere possibile passare alla soluzione tradizionale (in genere quando il numero di utenti in una installazione è più elevato rispetto al numero di transponder da distribuire).

L'adozione del Canale di Controllo, e lo sviluppo delle relative tecnologie per i sistemi SMATV e MATV, arricchirà le pre-

stazioni degli attuali impianti centralizzati d'antenna e offrirà benefici di natura economica, quali ridotti investimenti iniziali rispetto al tradizionale Sistema A. In aggiunta, questa nuova soluzione consentirà ad ogni singolo utente di decidere autonomamente sulla possibilità di ricevere i servizi digitali attraverso l'installazione collettiva, senza la necessità di approvazione da parte degli altri utenti.

4. Attività di standardizzazione

La proposta di questo nuovo approccio è stata sottoposta, nel marzo '98, al Modulo Tecnico del DVB (DVB-TM), che prese la decisione di sviluppare gli studi all'interno del Progetto europeo S3M (AC313). Il Progetto creò un nuovo gruppo di lavoro, presieduto dal Centro Ricerche RAI (WP10), con lo scopo principale di studiare e sviluppare soluzioni compatibili ed armonizzate con le normative esistenti, in modo da contribuire al processo di standardizzazione a livello europeo.
Furono presi contatti con i costruttori di Set-Top-Box, al fine di sviluppare soluzioni facilmente integrabili nei STB commerciali, ad esempio comprendenti una interfaccia d'utente che assicuri un sistema completamente trasparente per l'utente.
Soluzioni preliminari, basate su prototipi di STB commerciali con alcune modifiche software, provarono la fattibilità della nuova soluzione. Lo sviluppo di prototipi incluse il transmodulatore individuale, comunicante con il ricevitore d'utente tramite il Canale di Controllo. Il protocollo di comunicazione trasportava informazioni relative alla frequenza del canale scelto, alla polarità e alla banda del canale selezionato dall'utente. Questi dati, trasmessi con modulazione FSK attraverso la rete di distribuzione, venivano ricevuti al centralino dal transmodulatore individuale e utilizzati per sia la sua sintonizzazione che per controllare la polarità e banda del Low Noise Block (LNB) tramite una commutazione convenzionale di frequenza/tensione.
Dimostrazioni del nuovo sistema vennero organizzate a SATEXPO (Vicenza, Italia, Ottobre 1999), Cable&Satellite (London, UK, Maggio 1999), ECMAST'99 (Madrid, Spagna, Maggio 1999), MATELEC (Madrid, Spagna, Ottobre 1998). La figura 4 mostra lo stand RAI a SATEXPO, dove fu dimostrata una distribuzione di segnali digitali da satellite in una installazione SMATV di 64 utenti. I segnali provenienti da 3 centralini, il primo utilizzante il Sistema A (64-QAM), il secondo utilizzante il Sistema B (QPSK), ed il terzo utilizzante il nuovo sistema con Canale di Controllo, vennero distribuiti attraverso la stessa rete di distribuzione e ricevuti con 3 diversi STB.
Al fine di richiamare l'attenzione sui benefici della nuova soluzione nel contesto internazionale, è stata recentemente presentata al DVB-CM (Commercial Module) e al DVB-TM (per informazione), da parte di Fracarro Radioindustrie, RAI, Telepiù e CSELT, una proposta per un insieme preliminare di requisiti commerciali. Il documento finale è stato approvato dal DVB-CM e trasmesso al DVB-TM per le necessarie considerazioni tecniche [6].

5. Conclusioni

La nuova soluzione proposta per i sistemi SMATV, basata sull'uso di un Canale di Controllo tra il terminale d'utente e il transmodulatore QPSK-QAM, è efficiente in termini di costi, particolarmente nel caso di piccoli e medi impianti e offre nuove opportunità per una maggiore penetrazione dei servizi digitali da satellite.
Il suo principale vantaggio è la capacità di riutilizzare gli attuali impianti centralizzati

Fig. 4 - Dimostrazione dei Sistemi SMATV e del nuovo sistema con "Canale di Controllo" negli impianti centralizzati d'antenna. SATEXPO, Vicenza, 22-25 Ottobre, 1999.

d'antenna per la distribuzione dei nuovi servizi digitali, con limitati investimenti per gli utenti nell'adeguamento tecnologico dell'installazione.

La soluzione con Canale di Controllo, sebbene primariamente intesa per stabilire un collegamento bidirezionale tra il transmodulatore e l'apparato d'utente, può anche essere utilizzata per controllare una varietà di altri apparati installati al centralino, come, ad esempio, convertitori FI-FI, commutatori, etc.

Inoltre, la capacità di accedere in modo remoto, dal terminale d'utente, a Transport Stream/multiplex DVB distribuiti da differenti media, può offrire nuove prospettive commerciali per lo sviluppo della televisione digitale e dei servizi multimediali in ambienti diversi (es. xDSL).

Il nuovo approccio con Canale di Controllo è stato implementato con successo in prototipi preliminari ed è ora all'esame del DVB al fine di identificare una soluzione concordata a livello europeo.

Bibliografia

1 – S3M: *Business Plan*, "Deliverable DE019", November 1998, Type: P.

2 – ETSI EN 300 473: *Digital broadcasting systems for television, sound and data services; Satellite Master Antenna Television (SMATV) distribution systems.*

3 – M. Cominetti, P. B. Forni, V. Sardella: *Digital broadcasting technologies and services: new opportunities for public operators*, "IBC '98", Amsterdam, September 1998.

4 – V. Sardella: *Reception of satellite digital TV signals via community installations (SMATV)*, "4th European Conference on Satellite Communications", Rome, November 1997.

5 – Fracarro Radioindustrie: *Universal digital distribution system across existing MATV networks*, "DVB-TM2047", March 1998.

6 – DVB-CM 194: *Commercial requirements for the addition of a Control Channel to the SMATV/MATV distribution systems*, April 2000.

Multimedia Home Platform. Uno standard comune per servizi e terminali domestici

M. Cane,
D. Gibellino

ing. Massimiliano Cane, Rai – Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica – Torino,
dott. ing. Diego Gibellino, Telecom Lab – Torino.
L'articolo è stato redatto nell'ambito dell'attività di tesi di laurea e stage svolta presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 18 aprile 2001

Il Progetto MHP si propone di definire un nuovo terminale domestico attraverso il quale sia possibile per l'utilizzatore accedere ad un ampia gamma di esistenti o nuovi servizi. Lo strumento mediante il quale il progetto persegue questo obbiettivo è la stesura di uno standard aperto, da trasmettere ai competenti enti internazionali di normativa, che stabilisca le funzionalità e le interfacce del terminale MHP. Il progetto si prefigge di concedere ai costruttori dei terminali ed ai fornitori di servizi ampi gradi di libertà per differenziare in un'ottica di mercato i loro prodotti; a tal fine ha stabilito l'inclusione nello standard di differenti profili di terminale, in base al segmento di mercato di destinazione, e di differenti livelli minimi di prestazione. Il Progetto MHP, attivo in

1. Introduzione

Sulla scia della rapida diffusione delle tecnologie digitali di produzione e distribuzione dei programmi televisivi sviluppate al proprio interno, il Consorzio europeo per il Digital Video Broadcasting ha avviato nel 1997 un progetto teso alla definizione di uno standard aperto per l'offerta e l'accesso ai servizi televisivi di nuova generazione. Tale progetto ha raggiunto nel febbraio 2000 un primo, importante traguardo, con il rilascio della prima versione di un nuovo standard, ratificato dall'ETSI, e denominato MHP: una sigla che entro la fine di quest'anno irromperà nelle case di molti di noi.

Questo articolo si propone di illustrare la cronistoria del progetto, descrivere succintamente il nuovo standard, identificare il ruolo svolto dalla Rai nel suo sviluppo e per la sua prossima adozione, e spiegare perché molti esperti del settore radiotelevisivo non esitino a definire l'MHP come una vera "rivoluzione copernicana".

Multimedia Home Platform – A common standard for services and home terminals – MHP Project is aimed to define a new home terminal that enables users to access a wide range of existing and innovative services. The project objective is the definition of an open standard, to be released by International Bodies, including functionalities and interfaces of the MHP terminal. Terminal manufacturers and service providers shall be granted of a wide degree of freedom to characterize their products, based on specific business models. The standard includes different profiles for terminals: market segments and performance levels are the discriminant factors. MHP Project, started in 1997 by DVB, involves most important companies and organisations and in February 2000 has issued the first release of the specifications, soon become ETSI TS 101 812 v 1.1.1. This specification is focused on the digital TV services, terrestrial and via satellite, and on the Set-Top-Box as the home terminal. This article deals with the project history, the commercial and technical requirements of the MHP terminal, and the foreseen impact of this new technology on production, distribution environments, and on our habits.

1.1 Il quadro di riferimento

L'affermazione delle tecnologie digitali comporterà una progressiva sostituzione, o quantomeno un sostanziale aggiornamento, degli apparati attualmente utilizzati in tutti gli anelli della catena televisiva. Già a metà degli anni '90, il DVB si è tuttavia reso conto che l'impatto di queste nuove tecnologie sul settore avrà risvolti che andranno ben oltre i meri aspetti tecnici.

La tecnologia digitale rappresenta la soluzione globale alla domanda crescente di nuovi servizi radiotelevisivi, generalisti e tematici, in chiaro e a pagamento, e consente un aumento esponenziale dell'offerta di canali radiotelevisivi, vista la cospicua riduzione di banda da allocare in trasmissione per ciascun canale. Essa consente inoltre un miglioramento della qualità audiovideo, l'introduzione del formato panoramico (16:9), e l'accesso a servizi Internet, multimediali e interattivi. Offre nuove opportunità per i fornitori dei servizi, i gestori di rete e l'industria cinematografica, agevola e rende economicamente vantaggiose sinergie un tempo impen-

Fig. 1 - Schema di convergenza ipotetica tra i servizi televisivi e informatici (fonte DVB).

sabili, e stimola una forte convergenza tra settori industriali in passato rigidamente separati da barriere commerciali e, forse ancor più, culturali.

1.1.1 Una convergenza inarrestabile

Nel corso degli anni '70 e '80 e nei primi anni '90, l'industria informatica e l'industria televisiva si sono sviluppate in Europa, ed in particolare in Italia, lungo filoni e con tempistiche rigidamente distinte. I prodotti ed i servizi di questi due settori industriali rispondevano a esigenze, o funzioni d'uso, percepite dai loro utilizzatori o acquirenti come nettamente distinte, se non in qualche caso come antitetiche: mentre per il primo caso, essi rappresentavano un mero strumento di lavoro, nel secondo caso erano visti come possibilità di svago, intrattenimento o informazione.

Anche dal punto di vista tecnico, i principi e le competenze richieste agli addetti ai lavori dei due settori erano tra loro complementari.

Nella seconda metà degli anni '90, questo quadro di riferimento è stato attaccato su due fronti da forze che lo hanno decisamente mutato. Da un lato, l'evoluzione tecnologica, ed in particolare la migrazione dall'analogico al digitale, ha creato un insieme di problemi, soluzioni e competenze comuni ai due settori, e ha indotto i rispettivi addetti ai lavori a parlare linguaggi tra loro più simili, e mutuamente comprensibili. Sul fronte opposto, diversi fattori, in primis l'accresciuto benessere e l'evoluzione del costume, hanno stimolato la ricerca o l'utilizzo da parte degli utenti di un medesimo strumento per soddisfare funzioni d'uso distinte, o addirittura funzioni d'uso del tutto nuove, nate dalla fusione o dalla sostituzione di preesistenti: esemplare per comprendere questo fenomeno è il caso del telefono cellulare, che, stando alle inchieste condotte da autorevoli organi di stampa, soddisfa oggi esigenze di comunicazione, status, accesso all'informazione e, da ultimo, anche intrattenimento.

Il DVB si è fatto interprete di questa convergenza tra industria informatica e radiotelevisiva, schematizzata in figura 1, con tutto il peso della propria autorevolezza. Nel 1997 il Consorzio ha infatti lanciato un nuovo progetto, con prospettiva di medio – lungo periodo, che già nella propria denominazione riassume l'idea stessa di convergenza.

ambito del Consorzio per il DVB dal 1997, esteso alla partecipazione delle più importanti aziende ed istituzioni, ha rilasciato nel febbraio 2000 la prima versione della specifica MHP, focalizzata sul servizio televisivo, che è stata assunta al ruolo di standard ETSI come TS 101 812 V1.1.1. La specifica è focalizzata sul servizio televisivo digitale, terrestre e via satellite, e sul Set-Top-Box quale prima implementazione pratica del terminale domestico. Questo articolo prende in esame la cronistoria del progetto, i requisiti commerciali e tecnici del terminale MHP, l'impatto che questa nuova tecnologia potrà avere su strutture di produzione, distribuzione, e in ultima analisi anche sulle nostre abitudini quotidiane.

1.2 Il Nome MHP

Multimedia Home Platform è il terminale domestico per l'accesso a servizi multimediali; è il Set Top Box (o televisore digitale integrato) di nuova generazione che dovrà arricchire le funzionalità del familiare elettrodomestico, e nel contempo integrare molte della funzionalità offerte dal personal computer, in particolare per quanto concerne l'accesso a Internet.

Multimedia Home Platform è il primo in ordine di tempo, il pioniere di una nuova famiglia di strumenti – definirli semplicemente elettrodomestici sarebbe riduttivo – la cui caratteristica peculiare dovrà essere la versatilità. Versatilità come capacità di adempiere in modo adeguato e possibilmente innovativo alla funzione d'uso per la quale tali strumenti sono stati progettati, ma con in aggiunta la capacità di evolvere a costi sostenibili per andare incontro a mutamenti o estensioni della funzione d'uso principale; in modo da rispondere dinamicamente a nuove esigenze manifestate dagli utilizzatori, o al progresso tecnologico. Questi nuovi strumenti dovranno gradualmente penetrare in tutti gli anelli della catena del servizio radio-televisivo, dal sistema di produzione e diffusione dei programmi, al terminale utente. E, proprio a livello di terminale utente, la versatilità deriverà dalla sinergia con l'industria informatica, che dispone di quelle tecnologie atte a rispondere a nuove esigenze, a migliorare o modificare, anche radicalmente, talune funzionalità con aggiornamenti o interventi concentrati in massima parte sul software e non sul terminale fisico.

Multimedia Home Platform è infine uno standard pubblico, aperto, già riconosciuto dall'ETSI, e garantito dal Consorzio DVB.

Il nome MHP, che letteralmente si traduce con *piattaforma multimediale domestica*, può quindi essere utilizzato indifferentemente per indicare:

- un nuovo elettrodomestico che presto diventerà familiare nelle case di molti di noi;
- uno standard internazionale;
- il punto di sintesi di un nuovo, vastissimo mercato creato dalla convergenza tra industria informatica e radio-televisiva;
- qualcosa che nella storia della televisione è comparabile solo all'introduzione del colore.

2. Il progetto MHP

Il progetto MHP nasce formalmente alla fine del 1997, con una decisione dello Steering Board del Consorzio DVB, che dà mandato al modulo commerciale del medesimo consorzio di costituire un gruppo di lavoro *ad hoc* con l'incarico di redigere una lista di dettagliati requisiti commerciali che il nuovo standard dovrà soddisfare. A far parte di questo gruppo vengono invitati rappresentanti degli enti europei e delle aziende maggiormente interessati al progetto, tra cui merita particolare menzione la Sun Microsystems®, le cui ricerche in ambito alla tecnologia Java™ sono alla base degli sviluppi progetto. In seno al gruppo, in ossequio allo statuto del DVB, si stabilisce una procedura di lavoro fortemente basata sul raggiungimento del consenso, quanto più vasto possibile, tra i partner, in modo da garantire poi ampio sostegno e buone prospettive di adozione allo standard.

L'obiettivo primario contenuto nel mandato dello Steering Board è la definizione di uno standard che sia aperto all'utilizzo da parte di ogni soggetto interessato, anche non membro del DVB, che non richieda accordi bilaterali tra i soggetti che realizzeranno singole componenti dello standard per l'integrazione ed il funzionamento degli stessi,

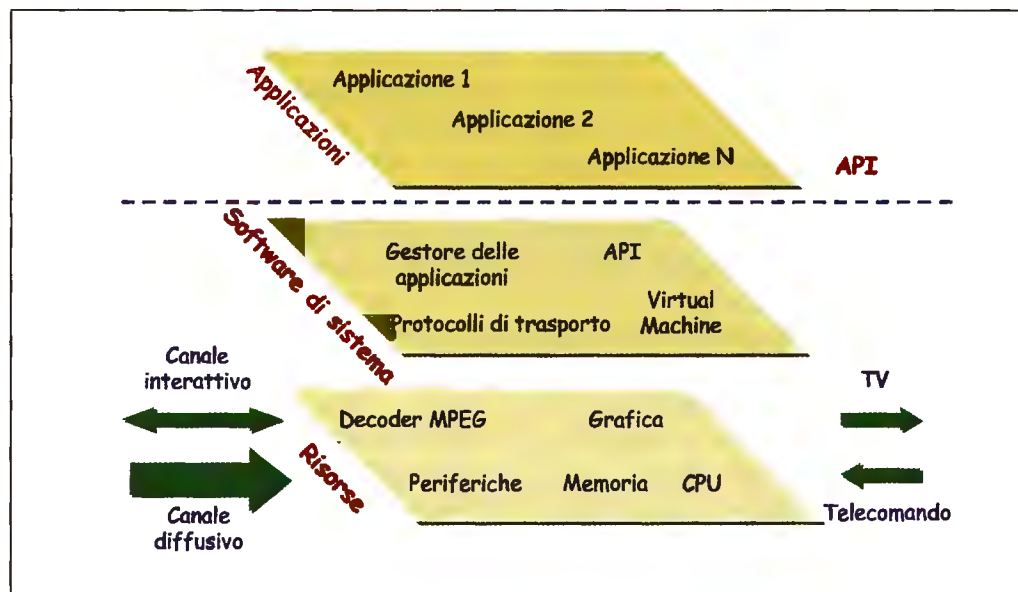



Fig. 2 - Schema dell'architettura funzionale del terminale MHP.

che preveda l'equivalenza, come prestazioni minime, delle implementazioni dello standard realizzate da soggetti diversi e tra loro indipendenti. Questo significa che, nel futuribile mercato di prodotti e servizi conformi allo standard MHP, ogni soggetto può operare indipendentemente e indifferentemente agli eventuali accordi commerciali stabiliti da o con altri soggetti. Gli apparati di diverse marche sono *sostituibili* tra loro, almeno per quanto attiene alla conformità con lo standard e alle prestazioni base, mentre i servizi offerti da diversi operatori sono *interoperabili*, nel senso che sono fruibili mediante qualunque apparato. Gli operatori di rete, o i broadcaster, possono essere *carrier* di qualunque servizio verso qualunque apparato.

La definizione di uno standard aperto vuole porre anche un freno al proliferare di tecnologie o prodotti, spesso tra loro incompatibili, che sono proprietari di singole aziende o di consorzi privati. Tale proliferazione è oggi indicata come il principale fattore che ostacola lo sviluppo del mercato dei servizi radio-televisivi digitali.
L'obiettivo fissato dallo Steering Board è stato tradotto in un documento di Commercial Requirements, che hanno costituito la base di lavoro per un gruppo tecnico *ad hoc*, denominato TAM, costituito in seno al modulo tecnico del DVB. Questo gruppo, nel gennaio 2000, ha prodotto una specifica tecnica MHP che, approvata dal modulo tecnico e dallo Steering Board, è successivamente divenuta lo standard ETSI TS 101 812 V1.1.1 [1].

2.1 La normativa

La soluzione MHP copre l'intero set di tecnologie che sono necessarie all'implementazione di applicazioni per la fruizione di contenuto multimediale digitale interattivo nelle abitazioni, inclusi protocolli di comunicazione, interfacce fisiche e software. Essa contempla uno standard per il modello di base dell'architettura interna dei terminali, per il modello funzionale di base dei programmi software, e per il modello dell'interfaccia utente. Ne discende – traguardo non da poco per chi conosce la storia recente della TV – che il telecomando, gli eventuali dispositivi di puntamento e la tastiera dei terminali MHP seguiranno tutti un modello funzionale standard.

La normativa si astiene volutamente dallo specificare particolari implementazioni o realizzazioni delle funzioni del terminale, e allo stesso modo evita di porre vincoli eccessivamente stringenti sulla tipologia o la modalità di fruizione dei servizi che potranno essere offerti agli utenti attraverso il terminale. Questo allo scopo di concedere a tutti i soggetti che si avvarranno dello standard la massima libertà possibile nel perseguire i propri modelli commerciali, e per aumentare le probabilità di penetrazione dei prodotti MHP in mercati preesistenti.

2.2 La Piattaforma Multimediale Domestica

La piattaforma multimediale domestica viene definita come l'insieme di periferiche e di interconnessioni necessarie per l'accesso a risorse multimediali attraverso la rete digitale domestica.

L'architettura base della piattaforma MHP è composta da tre livelli o strati:

- Applicazioni
- Software di sistema
- Risorse o Periferiche

La figura 2 schematizza la ripartizione in strati della piattaforma MHP, mettendo in evidenza l'interfaccia che consente l'interconnessione tra terminale e applicazioni, e che, nel contempo, separa e rende indipendenti le realizzazioni e, in certa misura, anche l'evoluzione delle due parti.

2.2.1 Applicazioni

Secondo la definizione adottata dal TAM, una *applicazione* è la realizzazione funzionale di un servizio interattivo composto da moduli software che richiedono l'attivazione di componenti hardware e software del terminale MHP.

Le applicazioni MHP possono essere *residenti*, *installabili*, o *scaricabili*. La prima categoria di applicazioni attiene a funzionalità eventualmente offerte in modo esclusivo da un terminale di modello e marca specifici. Tali applicazioni costituiscono un fattore di differenziazione tra i terminali MHP, ed un motivo di competizione commerciale tra i loro costruttori ed offerenti, e dunque esulano dal contesto proprio dello standard.

Le altre due categorie di applicazioni hanno in comune la qualità di poter essere offerte agli utenti dei terminali da soggetti terzi rispetto ai costruttori degli stessi, e tipicamente saranno realizzate ed utilizzate dagli operatori dei servizi televisivi per caratterizzare la loro offerta.

Ogni applicazione serve a presentare e realizzare un servizio all'utente del terminale MHP. Essa è specifica dell'offerta, altrimenti detta *bouquet*, di almeno un operatore, e può essere ulteriormente collegata ad un singolo canale televisivo, ad un singolo programma o a parte di esso, grazie ad una perfetto meccanismo di sincronizzazione tra applicazioni software e contenuti audio-video. Tale meccanismo si avvale di estensioni di una specifica DVB relativa alle trasmissioni digitali – specifica DVB-SI [2], e della previsione nello standard MHP di strumenti opportuni. Questo concetto sarà approfondito in seguito; a questo livello, è sufficiente ribadire che, oltre alla suddivisione in categorie già enunciata, proprio la sincronizzazione con i contenuti audio-video crea un'ulteriore partizione trasversale delle applicazioni MHP in due distinte famiglie. Il progetto MHP contempla infatti servizi interattivi – e quindi applicazioni – autonomi dai contenuti audio-video dei programmi televisivi, quali ad esempio giochi o servizi informativi, e servizi collegati ai contenuti audio-video,

quali appunto l'EPG. Come vedremo nel capitolo 3, parte del processo produttivo delle applicazioni MHP può essere comune alle due famiglie, ma, dal punto di vista del fornitore del servizio, orientarsi verso l'una o l'altra tipologia di applicazioni detèrmina effetti sulle strutture produttive esistenti, e richiede condizioni al contorno, tra loro anche molto differenti.

Le applicazioni scaricabili, e un sottoinsieme delle applicazioni installabili, devono essere basate su tecnologia *pure Java*, ovvero non possono richiedere per il loro funzionamento alcun requisito addizionale al terminale sul quale sono scaricate (o installate), fuorché la conformità allo standard MHP. Questa è l'unica tipologia di applicazioni realmente interoperabile rispetto al terminale di fruizione, e per questo motivo tali applicazioni vengono denominate anche, con esplicito richiamo al mandato ricevuto dal DVB e al ruolo svolto dalla tecnologia Java™ per tradurre in realtà tale mandato, *applicazioni DVB-J*.

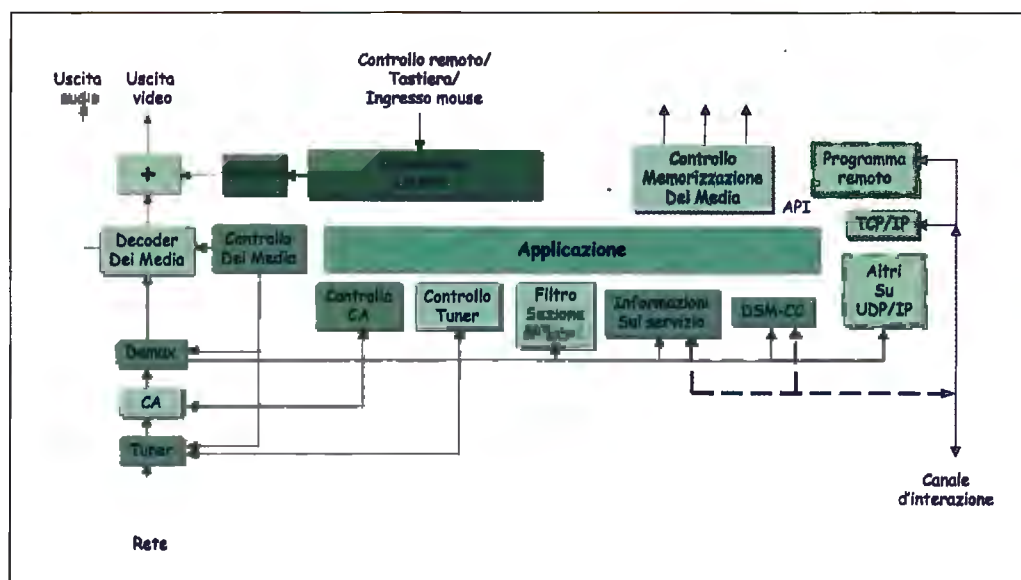
2.2.2 Software di sistema, Risorse e Periferiche

Il *software di sistema* del terminale MHP ha accesso a flussi contenenti informazioni audio-video e dati trasmessi secondo gli standard MPEG e DVB. Controlla inoltre tutti i moduli hardware – tuner, demux, modulo di accesso condizionato, processore, memoria RAM e Flash, hard-disk,... – altrimenti detti *risorse*, e le interfacce verso l'utente e verso l'esterno – telecomando, modem, lettore smart-card, lettore DVD,...– altrimenti dette *periferiche*, di cui ciascun terminale MHP può essere dotato. Da notare che la dotazione appena descritta è ipotetica, difettiva e varia per modello e marca del terminale.

Il software di sistema si compone di uno strato, detto HAL – Hardware Abstraction Layer – che gestisce le interconnessioni a livello fisico / elettrico con risorse e periferiche e di uno strato software, detto sistema operativo, che garantisce integrità e funzionalità del terminale. Interna al software di sistema, e parte integrante di esso, è la *Java Virtual Machine* – Java VM. Trattasi di una componente software, specifica della tecnologia Java™, che realizza un livello di astrazione di risorse e periferiche del terminale molto superiore a quanto possibile mediante l'HAL; al punto che, per quanto concerne le applicazioni software, tutti i terminali dotati della Java VM diventano tra loro indistinguibili, se non in termini di prestazioni. Questo perché la Java VM espone verso le applicazioni, realizzate a loro volta in linguaggio Java, interfacce funzionali e procedurali identiche per ogni terminale MHP, indipendentemente da chi ne sia il costruttore o il fornitore. L'insieme di queste interfacce software viene genericamente denominato Application Programming Interface – in sigla API (vedi riquadro sottostante). L'interfaccia API MHP costituisce l'architrave dello standard e dell'intero progetto.

API

La maggior parte dei linguaggi di programmazione utilizzati per sviluppare applicazioni software prevede l'utilizzo di blocchi di istruzioni, denominati "procedure" o "funzioni", che svolgono elaborazioni dal significato logico pressoché autonomo (i.e. la procedura che calcola l'elevamento a potenza di un numero, oppure la funzione che estrae una sequenza di pacchetti MPEG con un certo PID da uno stream). Tali blocchi di istruzioni possono essere interni al codice dell'applicazione, oppure, specie se svolgono elaborazioni che coinvolgono periferiche o risorse della macchina, o anche sono di uso comune per più applicazioni, possono essere integrate nel sistema operativo, o

Fig. 3 - Schema a blocchi del terminale MHP: sono visibili i vari componenti h/w e s/w e l'applicazione in esecuzione. La linea scura intorno all'applicazione rappresenta l'interfaccia standard MHP tra componenti del terminale e applicazione.

installate come pacchetti software o "librerie" condivise. In questo caso, per poterle utilizzare, coloro che sviluppano le applicazioni devono conoscere la modalità per fornire alla funzione i dati in ingresso e per ottenere i risultati dell'elaborazione. Questo insieme di informazioni, specifico di ogni funzione, va sotto il nome di "prototipo funzionale".

2.2.3 API MHP

Obiettivo irrinunciabile del progetto MHP è che l'integrità della presentazione verso l'utente prescelta dal fornitore di un servizio e l'insieme delle funzionalità dell'applicazione che pone in essere tale servizio siano garantite indipendentemente dalla particolare realizzazione della piattaforma terminale, purché conforme allo standard. Questo obiettivo si raggiunge mediante l'esposizione verso l'applicazione di un insieme di interfacce software – denominate API – comune e identico per tutte le implementazioni del terminale MHP. L'interfaccia API MHP è chiaramente visibile in figura 3, come la linea spessa che divide l'applicazione dalle periferiche e dal software di sistema.

Le applicazioni, scritte in linguaggio Java, utilizzano le API per accedere al software di sistema che controlla le risorse del terminale MHP. Per poter utilizzare le API, la tecnologia Java™ prevede che le applicazioni, o meglio coloro che le realizzano, ne debbano conoscere i *prototipi funzionali*, che sono elencati e descritti nella specifica tecnica MHP.

L'ultima affermazione implica almeno due importanti conseguenze, su cui vale la pena di soffermarsi. La prima è che la realizzazione di applicazioni MHP richiede competenze informatiche nel settore dei linguaggi ad alto livello di astrazione, come Java, ed esperienza nella programmazione software: un profilo professionale sinora largamente minoritario nell'industria radio-televisiva.

La seconda conseguenza – all'apparenza banale, ma assai importante – è che si può parlare di applicazioni MHP solo a decorrere dal rilascio dello standard, essendo necessaria la sua conoscenza per realizzarle; ma il progetto MHP deve inserirsi in un mercato già esistente, popolato in Europa e nel mondo di operatori che già offrono –

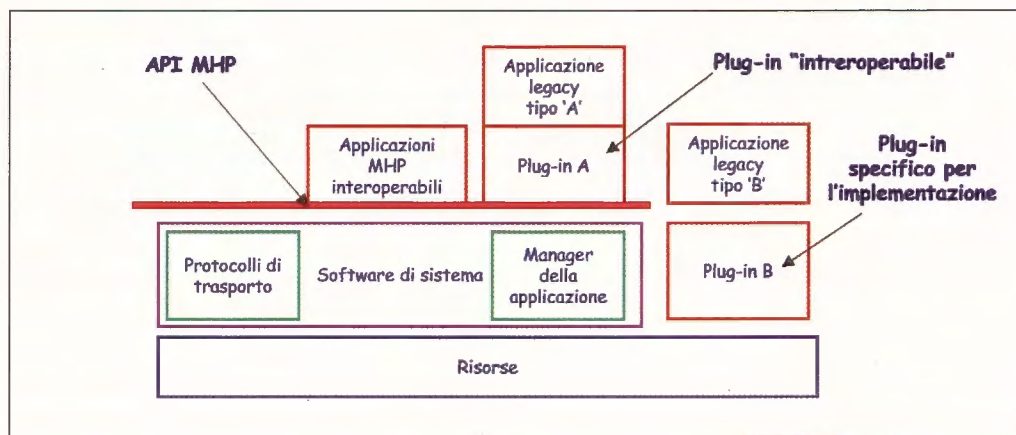



Fig. 4 - Schema dell'architettura software del terminale MHP: sono visibili le due tipologie di plug-in previste dalla specifica, e viene messo in evidenza il loro differente ambito di utilizzo.

sui canali digitali via satellite, via etere o cavo, nonché via Internet – molteplici servizi realizzati nella maggior parte dei casi con tecnologie diverse da Java™, e spesso proprietarie.

Il progetto MHP ha affrontato sin dagli albori queste due problematiche, ed ha predisposto soluzioni adeguate. La prima verrà descritta nel capitolo relativo a *authoring* delle applicazioni MHP. Ora ci soffermiamo sulla seconda.

2.3 Plug-In

Quando un nuovo prodotto entra in un mercato popolato da prodotti preesistenti, o disciplinato da regole, prassi o standard che si propone di modificare, ma che sono vigenti al momento della propria introduzione, esso deve risolvere il problema - ancorché solo transitorio – della propria compatibilità con i prodotti, le regole o prassi esistenti.

Nel settore radio-televisivo un problema simile si è avvertito con l'introduzione del colore: le nuove trasmissioni dovevano essere visibili anche sui vecchi apparecchi in bianco e nero; e la soluzione adottata doveva superare una fase di transizione che – come poi in effetti è accaduto – poteva durare anni.

Nell'industria informatica, dove i tempi di aggiornamento della tecnologia sono assai più rapidi, il problema si pone pressoché quotidianamente. La soluzione tipicamente adottata prende il nome di *plug-in*.

Nel caso del progetto MHP, il plug-in è un componente software da installare nel terminale, ed il suo ruolo è di rendere compatibili i prodotti di una tecnologia preesistente (ad esempio le applicazioni MediaHighway) con la nuova piattaforma, in modo che quella tecnologia non subisca un'obsolescenza immediata, e che l'introduzione dello standard MHP non ne sia ostacolata. Ogni plug-in è specifico della tecnologia, specie se trattasi di tecnologia proprietaria, di cui si vuole garantire la compatibilità.

La figura 4 schematizza l'architettura del terminale MHP e mostra il ruolo de(i) plug-in, che consentono al terminale di mettere in esecuzione, oltre alle applicazioni DVB-J (applicazioni MHP interoperabili), anche altre tipologie di applicazioni. Sono previste due tipologie di plug-in: plug-in A e plug-in B. Il plug-in di tipo A si applica per le tecnologie più "recenti", ed è costituito da uno strato software che converte l'interfaccia esposta dal terminale MHP in un formato comprensibile per

applicazioni non-MHP. Il plug-in di tipo B si applica invece per operare un bypass completo dell'architettura MHP, e consentire alle applicazioni che ne abbiano necessità, l'accesso diretto, o, al limite, tramite l'HAL, a risorse e periferiche del terminale.

Fondamentale differenza tra i due tipi di plug-in è costituita dal fatto che, al pari di un'applicazione MHP, il plug-in di tipo A può essere realizzato e fornito da molteplici soggetti, mentre il plug-in di tipo B deve essere fornito dal costruttore del terminale, ed in pratica si colloca in modo complementare rispetto all'MHP. Nel senso che ciò che rende questo strato software di interfaccia plug-in rispetto all'MHP è solo la convenzione terminologica qui adottata, ma è perfettamente consistente un punto di vista duale, ovvero vedere l'MHP come plug-in di tipo B di qualche altra tecnologia.

Questo discorso diventa meno astratto, e anzi assume un concreto interesse, se, invece di riferirci ai Set-Top-Box, o in genere a strumenti specificamente progettati per la ricezione di servizi radio-televisivi, ci concentriamo sulle possibili applicazioni del progetto MHP nel settore Personal Computer, e su come realizzare la piattaforma MHP su PC; oppure, in definitiva, sulla fattibilità di un terminale MHP commerciale effettivamente in grado di adempiere a tutte le funzioni d'uso, e quindi di essere *sostitutivo*, nei confronti del Set-Top-Box e del Personal Computer.

Fig. 5 - Profili di terminali conformi allo standard MHP, determinati sulla base delle aree di mercato a cui sono rivolti, e dei livelli di costo / prestazioni previsti. Al momento, lo standard MHP contempla sei profili, ma ulteriori profili potranno essere aggiunti in versioni future.

Come possibile punto di arrivo del processo di convergenza tra industria radio-televisiva e industria informatica presentato nell'introduzione, questo sviluppo del progetto MHP, che si concretizzerà con il rilascio di una nuova versione dello standard, prevista per il prossimo autunno, sarà oggetto di uno specifico articolo. Per ora, è comunque possibile anticipare che il Personal Computer possiede una versatilità intrinseca che il progetto MHP intende sfruttare per rendere possibili implementazioni puramente software dello standard, che siano applicabili sui PC di più recente produzione senza bisogno di alcun intervento sull'hardware.

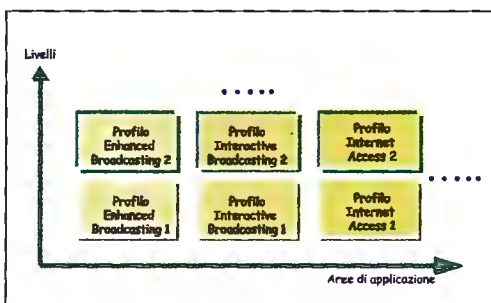
2.4 I profili

Lo standard MHP definisce tre principali aree di interesse commerciale relativamente alle tipologie di applicazioni supportate dal terminale:

- Enhanced Broadcasting (EB);
- Interactive Broadcasting (IB);
- Internet Access (IA);

ed enumera diversi livelli evolutivi delle dotazioni e funzionalità del terminale, che dovrebbero corrispondere a prezzi e prestazioni crescenti.
Il documento di specifica prevede che ulteriori aree applicative possano essere contemplate in versioni successive dello standard, e parimenti la numerazione dei livelli dovrebbe essere destinata a crescere, in conseguenza della progressiva introduzione di nuove generazioni di terminali MHP che andranno a sostituire i modelli meno recenti. Al momento due livelli sono presi in considerazione, come si può vedere in figura 5.

Dal momento che il documento sancisce che "non tutte le implementazioni dello standard debbano supportare tutte le aree applicative", si potranno trovare in com-

mercio terminali MHP realizzati con funzionalità specifiche di un profilo rivolto ad una particolare area di mercato, mentre all'interno di ciascuna area si potrà avere una segmentazione dei prodotti corrispondente alla ripartizione dello standard in livelli.

La figura 6 mostra quali sono le principali tecnologie che i terminali conformi a singoli profili dello standard MHP dovranno supportare, e schematizza quale rapporto esiste tra i differenti profili, visto che il profilo IB 1 è un superset del profilo EB 1, e che alcune funzionalità sono comuni a più profili.

La conformità del terminale ad uno specifico profilo impone la dotazione delle risorse e periferiche, nonché delle funzionalità previste per quel profilo.

2.4.1 Funzionalità e dotazioni

Nel caso del profilo EB 1, i terminali conformi a questo profilo devono essere dotati di accesso al canale di trasmissione *broadcast*, mentre la presenza di un eventuale canale di ritorno, per esempio via modem, è considerata opzionale, e in ogni caso la gestione di questo canale di comunicazione secondario è definita solo in profili di ordine superiore. Il profilo EB 1 consente di allestire servizi che combinano la trasmissione digitale di flussi audio/video con quella di applicazioni software *scaricabili*. Tali servizi possono permettere una fruizione innovativa e interattiva dei contenuti messi in onda, in quanto le scelte effettuate dall'utente – sia in modo autonomo, sia su suggerimento o richiesta dell'applicazione MHP in esecuzione – incidono sul formato di presentazione dei contenuti. In aggiunta alle dotazioni previste per il profilo EB 1, il profilo IB 1 richiede la presenza del canale di ritorno via modem, e fornisce il supporto per una vasta gamma di servizi

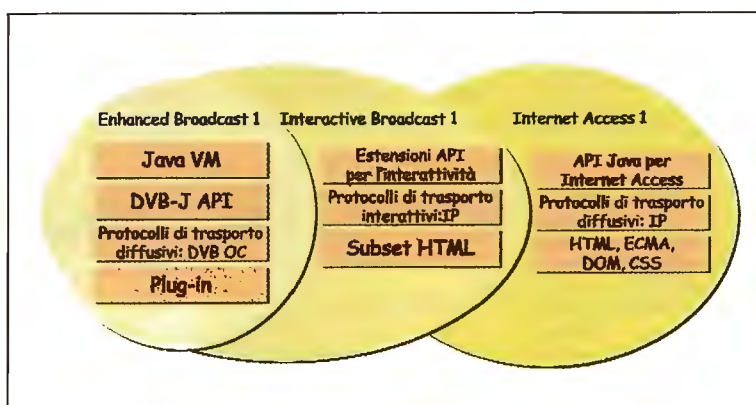



Fig. 6 - Funzionalità e tecnologie implementate per i tre profili di terminale. Intersezione ed inclusioni mostrano i rapporti esistenti tra i profili.

interattivi, associati o indipendenti rispetto ai contenuti trasmessi via canale broadcast. L'interattività non è limitata in un contesto locale alla piattaforma, come previsto dal profilo EB 1, ma contempla interazioni tra il terminale e server remoti, e consente la trasmissione, anche via canale broadcast, di contenuti indirizzati ad un terminale *specifico*: contenuti che dunque, pur se ricevuti da tutti i terminali, sono accessibili solo da parte di un insieme omogeneo – anche ristretto ad uno solo – di essi.
Terminali conformi a questo profilo potranno altresì offrire agli utenti servizi di navigazione Internet, E-mail, o E-commerce: nell'ambito del profilo IB 1, tali servizi si caratterizzeranno tuttavia per la peculiarità di non essere realizzati mediante applicazioni MHP scaricabili, ma mediante applicazioni residenti, a loro volta implementate in modo *proprietario*, ipoteticamente quale fattore di differenziazione commerciale dei prodotti, dai costruttori o fornitori dei terminali medesimi.

Il profilo IA 1, che sarà completamente specificato solo nella prossima versione dello standard MHP, dovrebbe invece segnare un primo punto fermo nel processo di convergenza tra TV e PC. Oltre a contemplare gran parte delle funzionalità dei due profili descritti nei paragrafi precedenti, esso garantirà accesso a tutti i servizi

Internet, eventualmente armonizzando e uniformando quanto eventualmente già offerto come estensione proprietaria del profilo IB 1.

I profili di livello 2 saranno specificati in future versioni dello standard MHP.

3. L'Authoring

Come accennato nel paragrafo 2.2.3, l'offerta di nuovi servizi basati sullo standard MHP richiede lo sviluppo di applicazioni software basate su tecnologia Java™. La padronanza di tale tecnologia oggi è esclusivamente in possesso di personale altamente specializzato. Dal momento che gli operatori radio-televisivi raramente dispongono di risorse umane con questo tipo di professionalità, né intendono allocare investimenti ingenti in mancanza di una chiara percezione dei ritorni che ne potrebbero percepire, l'impiego della tecnologia Java™ determina quindi la creazione di un mercato sussidiario per la produzione di applicazioni MHP.
Tale mercato può consentire agli operatori radio-televisivi l'adozione di comuni politiche di outsourcing, che però comportano il rischio di perdere il controllo del servizio appaltato in realizzazione e gestione a terzi, oppure di modelli di produzione più specializzati, che prevedono la partizione dell'applicazione software in moduli distinti, e la suddivisione del processo produttivo in fasi successive, caratterizzate da requisiti e che coinvolgono attori tra loro anche notevolmente diversi. Il prossimo paragrafo descriverà succintamente uno di questi modelli di produzione; maggiori approfondimenti sono invece disponibili in [6].

3.1 La "catena di montaggio" del software MHP

Il modello "catena di montaggio" assume che l'applicazione software utilizzata per realizzare un certo servizio possa essere concepita come:

- strumento di presentazione di contenuti audio/video e dati aggiornati dinamicamente (ad esempio informazioni di EPG, aggiornamenti sul traffico, quotazioni di borsa,...);
- assemblaggio di sub-componenti software conformi allo standard MHP che adempiono a funzioni elementari e sono d'uso comune a diverse tipologie di applicazione (ad esempio il "pulsante" da visualizzare sullo schermo, il "canvas" in cui introdurre un'immagine fissa, un logo, il player di un filmato MPEG,...);
- caratterizzazione di un *template*, o modello generale, di applicazione che può essere utilizzato in diverse occorrenze (ad esempio il template di un'applicazione organizzata a pagine può essere usato come base sia per un'applicazione di EPG, sia per un portale Web,...).

In base a queste assunzioni, è possibile suddividere la produzione in fasi successive, proprio come se si trattasse di una catena di montaggio per il software. In figura 7 è visibile uno schema che riassume questa suddivisione, mentre la tabella 1 descrive il processo produttivo come sequenza di sei operazioni.

Il concetto che qui è importante sottolineare è che questa suddivisione consente di sfruttare, nel dimensionamento delle strutture produttive, la peculiarità secondo cui l'impiego di risorse ad elevata professionalità informatica è richiesto solo nella prima fase del processo produttivo, mentre delle fasi successive può farsi carico personale con competenze maggiormente affini a quelle tradizionalmente allocate da parte di un operatore televisivo (i creativi, tecnici audio e video, giornalisti,...). Questa suddivisione consente inoltre, come valore aggiunto, di disporre di *archivi* di componenti e template di applicazioni riutilizzabili più volte, ed

Fig. 7 - Architettura dell'ipotetica catena di produzione e distribuzione dei servizi MHP offerti dalla RAI. Sono visibili le fasi di authoring (color azzurro) ed editing - caratterizzazione (color giallo) delle applicazioni. Dall'archivio di pubblicazione, le applicazioni possono essere direttamente distribuite, oppure sottoposte a una o più operazioni di editing.

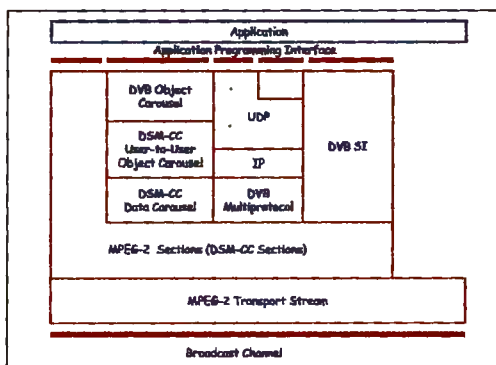
anche eventualmente rivendibili ad altri operatori; o ancora, di procurarsi da terze parti tali archivi, appaltando all'esterno solo una parte, quella meno strategica, della realizzazione di servizi MHP.

3.2 Sincronizzazione tra applicazioni e contenuti

Il processo descritto nel paragrafo precedente è comune sia alle applicazioni autonome dai contenuti audio-video, così come definite nel paragrafo 2.2.1, sia a quelle ad essi collegate. La seconda famiglia di applicazioni richiede tuttavia una specializzazione ulteriore del processo produttivo, ed, in riferimento alla tabella 1, si può affermare che il passo 5 – caratterizzazione dell'applicazione – diventa assai più complesso. Dal punto di vista logico, in questa fase occorre infatti definire un legame spazio-temporale tra software applicativo e contenuti audio-video; il che, tradotto in termini pratici, significa che occorre predisporre un qualche meccanismo che consenta di segnalare in tempo reale all'applicazione quando – e eventualmente in quale area dello schermo televisivo – mettere in atto un certo comportamento in corrispondenza dell'occorrenza di un particolare contenuto audio-video. Il che rende possibili, ad esempio, servizi di pubblicità interattiva.

Lo standard MHP offre almeno due meccanismi per effettuare questa segnalazione, il primo basato sull'utilizzo delle tabelle e del protocollo DVB-SI [2], il secondo, più raffinato, che fa uso del protocollo DSM-CC [3]. Sorvolando sulle differenze tra i due meccanismi, a questo livello preme sottolineare come in ogni caso le operazioni necessarie ad effettuare la sincronizzazione tra applicazioni e contenuti audio-video devono essere messe naturalmente in atto in fase di produzione, e che sono queste operazioni a fare dell'insieme eterogeneo di software e contenuti audio-video un prodotto nuovo ed omogeneo. Un prodotto che può essere "montato", così come già avviene oggi per film e serie televisive, oppure "confezionato" in tempo reale da un banco di regia più evoluto di quelli attualmente in uso, quando si tratta di trasmissioni in diretta.
In entrambi i casi, l'insieme delle operazioni di sincronizzazione effettuate è volto a creare delle informazioni aggiuntive che descrivono l'associazione logica tra software e contenuti audio-video. Tali informazioni aggiuntive rappresentano una particolare tipologia di ciò che oggi viene comunemente definito metadata.

I metadata sono indici, criteri di classificazione, percorsi di localizzazione, strutture

Fig. 8 - Lo standard MHP prevede diverse metodologie per la trasmissione del software.

dati necessarie a sincronizzare o descrivere software e contenuti; sono, insomma, "informazione sull'informazione": informazione a carattere sintetico, quando tende ad agevolare l'accesso a ciò su cui informa, ed a carattere analitico, quando invece tende a dettagliare o a fornire molteplici punti di vista.

In ogni caso, i metadata rivestono un ruolo centrale sia per il progetto MHP, sia in termini più generali per lo sviluppo della convergenza tra mercati e settori distinti, in quanto essa necessita di meccanismi associativi; non è quindi un caso che negli ultimi tempi siano proliferati formati e impieghi. Oggi, nel mondo, è in corso un processo di razionalizzazione dei metadata, il cui primo obiettivo è individuare o produrre uno standard per la sintassi, e, successivamente, per la semantica, dei metadata. Tale processo, il cui attore principale è il Forum TVAnytime [7], sarà oggetto di un prossimo, specifico articolo.

3.3 Trasmissione broadcast di software MHP

Una volta realizzata, sia seguendo il modello descritto nel paragrafo 3.1, sia qualsivoglia altro, l'applicazione MHP deve essere "consegnata" al terminale ricevente. Lo standard MHP contempla, soprattutto nei profili più evoluti, diverse modalità per adempiere a questa necessità, tra le quali si possono citare connessioni punto-punto tra terminale e fornitore del servizio, oppure installazione remota del software sul terminale. In questo articolo prendiamo in esame la modalità di base, ovvero la trasmissione del software su canale broadcast.

Come mostra la figura 8, lo standard MHP prevede diverse metodologie per la trasmissione del software, ognuna delle quali realizza un differente compromesso tra livello di astrazione e possibilità di specializzazione della soluzione adottata. La metodologia preferenziale, che consente il maggior livello di astrazione, utilizza il protocollo DSM-CC Object Carousel [3]. Semplificando, questa metodologia consente di rendere completamente trasparente al software applicativo il sistema di trasmissione: essa rende possibile ricostruire localmente al terminale MHP l'intera struttura dati definita in fase di authoring dell'applicazione, senza introdurre quindi appesantimenti dovuti alla specificità del canale di trasmissione effettivamente utilizzato.

4. Il contributo della Rai

La Rai è membro del Consorzio DVB e partecipa alle riunioni periodiche, direttive e tecniche, degli organismi che formano il Consorzio tramite propri rappresentanti con diritto di voto.
La Rai ha delegato la propria rappresentanza in seno al DVB alla Direzione Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica (CRIT).

La Rai ha apportato il proprio contributo alla formulazione del progetto MHP ed alla definizione dello standard, fornendo il punto di vista e l'esperienza di un primario broadcaster pubblico, nonché i risultati delle sperimentazioni svolte presso i laboratori del Centro da un apposito gruppo di lavoro. L'attività di questo gruppo si è concentrata nello sviluppo di applicazioni scaricabili atte a realizzare basilari servizi MHP, di profilo EB 1, nonché nella realizzazione di tutti i compo-

nenti software necessari alla diffusione di questi servizi via canale broadcast.

Le applicazioni sviluppate presso CRIT, di cui in figura 9 e in figura 10 sono visibili slide dimostrative, hanno consentito di convalidare i primi prototipi di terminali MHP, in stretta cooperazione con le aziende costruttrici; hanno permesso di sviluppare un know-how di alto livello, di cui la Rai potrà eventualmente avvalersi in fase di realizzazione di servizi industriali, o di orientamento delle scelte strategiche sul mercato; hanno infine contribuito, grazie alla partecipazione di Rai ad importanti eventi internazionali, tra cui IFA '99 ed IBC 2000, nel corso dei quali ne sono state mostrate le funzionalità avanzate, ad accrescere la fiducia da parte di molti operatori economici nella capacità dello standard MHP di affermarsi sul mercato, e quindi nella redditività degli investimenti effettuati su di esso.

Presso CRIT è stato inoltre sviluppato il prototipo industriale di un sistema di produzione per applicazioni MHP secondo il modello descritto nel capitolo 3.1; tale prototipo consta sia del tool di sviluppo, sia di un sistema di trasmissione del software via Object Carousel DSM-CC; sono stati inoltre presi in esame, per analisi comparative, prototipi di sistemi analoghi, prodotti da società indipendenti e resi anche disponibili in versione dimostrativa sul Web. Gli studi condotti in questo campo, uniti alla ormai vasta esperienza sviluppata da CRIT nel progetto MHP, costituiranno la base del contributo che CRIT ritiene di poter apportare in ambito al comitato EBU/P/AMM, di recente costituzione in seno all'EBU. Questo comitato, che si occuperà di considerare l'impatto dell'introduzione della piattaforma MHP nelle strutture di produzione radio-televisiva, ha tra i suoi compiti quello di fornire all'industria di settore le linee guida per la progressiva migrazione verso la nuova tecnologia.

Fig. 9 - Esempi di schermate dell'applicazione MHP che implementa un servizio di EGP evoluta sviluppata presso CRIT.

La RAI sta infine avviando una campagna di sperimentazione che prevede la trasmissione in digitale terrestre e via satellite di servizi televisivi rivolti a prototipi di Set-Top-Box MHP. Mentre la sperimentazione della televisione digitale terrestre (DTT) riveste anche una valenza autonoma dal progetto MHP, in quanto prepara la progressiva migrazione in digitale delle attuali trasmissioni analogiche, di particolare carattere innovativo saranno i nuovi servizi trasmessi via satellite: in virtù della composizione di software e contenuti audio-video, resa possibile dallo standard e dai risultati dell'attività di ricerca e sviluppo condotta presso CRIT, essi consentiranno la fruizione da ogni parte d'Italia delle principali edizioni dei 20 telegiornali regionali.

5. Prospettive future

Bozze preliminari della nuova versione dello standard, numerata 1.1, sono in circolazione tra gli addetti ai lavori. Tale versione contempla, come accennato nel capitolo 2, la definizione esaustiva del profilo IA 1, nonché alcune estensioni degli altri profili, e modifiche rese necessarie dalle risultanze

Fig. 10 - Esempi di schermate dell'applicazione MHP di portale Web sviluppata presso CRIT.

sperimentali emerse con le prime implementazioni della standard. A questo particolare riguardo, essa rifletterà infatti l'attività di test e convalida svolta da un gruppo *ad hoc*, appositamente costituito dal DVB, che ha lavorato a stretto contatto con le organizzazioni coinvolte nel pionieristico sviluppo dei primi prodotti e servizi commerciali conformi allo standard MHP.

Sebbene il rilascio ufficiale della nuova versione dello standard sia previsto per l'autunno 2001, probabilmente in simultanea con l'ingresso sul mercato dei primi Set-Top-Box a marchio MHP, è lecito affermare che la generazione successiva di terminali MHP sarà in grado di accedere alla rete Internet con procedure semplificate rispetto al PC, e consterà, o consentirà lo scaricamento, di uno o più browser in grado di presentare i portali di accesso e di offrire navigazione libera sulla rete.

Lo sviluppo della capacità di elaborazione, le tecnologie di miniaturizzazione e fattori legati ad economie di scala, consentiranno poi la realizzazione di *plug-in* MHP – vedi capitolo 2.3 – applicabili a tipologie di terminali profondamente diverse, con particolare attenzione ai terminali mobili.

6. Conclusioni

Sebbene l'ultima e definitiva parola sul destino del progetto MHP dovrà essere pronunziata dal mercato, e questo avverrà solo quando prodotti e servizi conformi allo standard saranno proposti al pubblico, sin da ora si può affermare che l'iniziativa intrapresa dal Consorzio DVB nel 1997 ha già centrato alcuni importanti obiettivi.

L'attività svolta dalle organizzazioni coinvolte a vario titolo nella definizione dello standard ha stimolato in misura significativa l'innovazione tecnologica in diversi settori industriali; ha creato una forte aspettativa di mercato, spalancando uno spazio che nuovi prodotti e servizi pensati nell'ottica della convergenza tra telecomunicazioni, intrattenimento ed informatica potranno comunque colmare, con positive ricadute sulla crescita economica ed occupazionale a livello europeo; ha infine dimostrato come l'espansione e l'integrazione dei mercati sia possibile solo a patto di una progressiva armonizzazione delle tecnologie a vario livello utilizzate, e della sostituzione di quanto è proprietario con standard aperti e accessibili secondo una politica di equità.

Il parallelo tra il progetto MHP e l'avvento del colore nella storia della televisione è dunque assolutamente plausibile.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare i colleghi Andrea Vecchiattini e Michele Visintin per il contributo dato alla preparazione del presente articolo. Desiderano inoltre esprimere la propria gratitudine e stima a tutti i colleghi del Centro coinvolti a vario titolo nel progetto MHP. Menzione particolare meritano infine il dott. Mario Cominetti e l'ing. Alberto Morello, membri degli organismi direttivi del DVB, nonché l'ing. Gino Alberico, per il contributo apportato al progetto, e per l'indispensabile supporto da loro fornito ai colleghi della Rai che hanno lavorato nei comitati tecnici.

Tabella 1
Catena di montaggio del software

Passi per la produzione di una applicazione MHP	Livello competenza informatica
produzione (o acquisizione) di un archivio di componenti generici, caratterizzabili e riutilizzabili;	ALTO
produzione di template di applicazioni affini, per funzionalità e/o per layout grafico, a quella in oggetto; (passo opzionale)	ALTO
produzione (o acquisizione) di contenuti AUDIO/VIDEO e dati da associare alle applicazioni;	BASSO
produzione (e archiviazione) – authoring – di applicazioni, ex-novo, sulla base di template, o mediante assemblaggio di componenti presenti in archivio;	MEDIO
caratterizzazione – editing – dell'applicazione, in tempo reale o modalità differita, con sincronizzazione dei contenuti;	BASSO
trasmissione dell'applicazione, caratterizzata just-in-time o reperita in archivio.	BASSO

Passi necessari per la produzione di un'applicazione MHP, secondo il modello descritto nel capitolo 3.2, e illustrato in figura 7. Tale modello utilizza il supporto di strumenti per l'automazione della produzione di software. Sono messe in evidenza le competenze del personale addetto.

Bibliografia

1 – ETSI TS 101 812 V1.1.1 – *Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP) Specification* 1.0, ETSI, April 2000.
2 – EN 300 468 1.3.1 – Digital broadcasting systems for television, sound and data services; Specification for Service Information (SI) in Digital Video Broadcasting (DVB) systems.
3 – ISO/IEC 13818-6 – Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Extensions for Digital Storage Media Command and Control.
4 – M. Cominetti, A. Morello, R. Serafini, *Prospettive per l'introduzione della televisione digitale terrestre in Italia*, Elettronica e Telecomunicazioni, Dicembre 1999.
5 – M. Cane, *Guide Elettroniche ai Programmi secondo la specifica di Diffusione Televisiva Numerica DVB*, Politecnico di Torino, Maggio 1998.
6 – D. Gibellino, *Piattaforma Multimediale Domestica: obiettivi, normativa e proposta di un sistema di produzione per applicazioni televisive*, Politecnico di Torino, Dicembre 2000.
7 – TV Anytime Forum – www.tv-anytime.org

Abbreviazioni

API – Application Programming Interface
CM – Commercial Module
DSM-CC – Digital Storage Media – Command and Control
DVB – Digital Video Broadcasting
DVB-J – DVB – Java
DVB-S – DVB – Satellite
DVB-SI – DVB – Service Information
DVB-T – DVB – Terrestrial
EBU – European Broadcasting Union
EBU/P/AMM – EBU/Production/Authoring on Multimedia Content
EPG – Elettronic Programme Guide
HAL – Hardware Abstraction Layer
IDTV – Integrated Digital TV
MHP – Multimedia Home Platform
MPEG – Moving Picture Expert Group
PC – Personal Computer
STB – Set-Top-Box
TM – Technical Module
TAM – Technical Ad-hoc Module
TS – Transport Stream
VM – Virtual Machine

Il sistema DVB-S2 di seconda generazione per la trasmissione via satellite e Unicast

ing. Alberto **Morello**, Direttore
ing. Vittoria **Mignone**

Rai
Centro Ricerche e
Innovazione Tecnologica
Torino

1. Introduzione

Il consorzio DVB (*Digital Video Broadcasting*) fu costituito nel Settembre del 1993, e le prime attività furono dedicate allo sviluppo delle specifiche tecniche per la diffusione della televisione digitale da satellite DVB-S [1], attualmente usata dalla maggior parte degli operatori satellitari nel mondo. Nel decennale della nascita del DVB nasce il DVB-S2 [2], sistema di seconda generazione per la trasmissione via satellite.

Il sistema DVB-S2 è stato progettato per varie applicazioni satellitari a larga banda: servizi diffusivi di TV a definizione standard (SDTV, *Standard Definition TeleVision*) e ad alta definizione (HDTV, *High Definition TeleVision*), applicazioni interattive per l'utenza domestica e professionale, compreso l'accesso ad Internet, servizi professionali di contribuzione TV ed SNG (*Satellite News Gathering*), distribuzione di segnali TV a trasmettitori digitali terrestri VHF/UHF, distribuzione dati e di siti Internet (*Internet trunking*).

Sommario

A dieci anni dalla definizione del notissimo DVB-S, sistema di diffusione televisiva via satellite attualmente operativo in tutto il mondo, nel corso del 2003 il consorzio Europeo DVB (Digital Video Broadcasting) ha sviluppato il sistema di seconda generazione per la trasmissione satellitare, denominato DVB-S2. Tale sistema beneficia dei più recenti sviluppi nella codifica di canale (utilizza i codici a controllo di parità LDPC, dall'inglese "Low Density Parity Check") combinati con vari formati di modulazione (QPSK, 16APSK e 32APSK). Oltre che per i servizi diffusivi, il sistema può essere impiegato per applicazioni interattive punto-punto, come l'accesso a Internet, e implementare l'ACM (Adaptative Coding & Modulation), che consente di ottimizzare lo schema di modulazione e codifica a seconda delle condizioni di canale.
Per consentire al DVB-S di continuare ad operare durante il periodo di transizione, lo standard DVB-S2 prevede modi di trasmissione "compatibili" con i decoder (Set-Top-Box, STB) satellitari di prima generazione.

Sono tre i concetti chiave in base a cui lo standard DVB-S2 è stato definito:

- maggiore capacità trasmissiva rispetto ai sistemi di prima generazione ed in particolare al DVB-S,
- totale flessibilità,
- ragionevole complessità del ricevitore.

Per ottenere il bilanciamento tra prestazioni e complessità, il DVB-S2 si avvale dei più recenti sviluppi nella codifica di canale e nella modulazione.

La scelta del "motore" è stata il risultato di una gara fra sette diverse proposte, il cui confronto ha richiesto la simulazione di un milione di Gigabit, 40.000 giorni di elaborazioni al computer (riferimento: CPU Pentium IV a 2GHz). Le proposte in gara erano basate su codici convoluzionali concatenati in modo seriale o parallelo (cosiddetti turbo codici), turbo codici a prodotto (*turbo product codes*), codici LDPC (*Low Density Parity Check*), tutti utilizzanti tecniche di decodifica SISO (*Soft Input-Soft Output*) iterative. Le simulazioni hanno valutato la distanza di ciascun schema dal limite di Shannon nel piano "capacità – rapporto segnale rumore C/N", per 4 valori di efficienza spettrale (1, 1.5, 2, 2.5 bit/s/Hz) assumendo un canale lineare AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). La massima complessità ammessa per il decoder era fissata in 14 mm^2 di silicio, con tecnologia[Nota 1] 0,13 µm, e la velocità di simbolo di riferimento di 55 Mbaud.

Sorprendentemente, risultò vincente la proposta basata sui codici LDPC, una famiglia di codici a blocco molto semplici, con struttura algebrica molto limitata, scoperti da Gallager nel 1960 [3], ma di cui soltanto oggi i progressi della tecnologia dei microcircuiti consentono di realizzare i sofisticati algoritmi di decodifica nei prodotti consumer.

Le caratteristiche dello schema prescelto [4], con prestazioni a soli 0.6 - 1.2 dB dal limite di Shannon, sono[Nota 2]:

- la grande lunghezza del blocco di codifica LDPC (64800 bit per blocchi cosiddetti normali e 16200 bit per blocchi corti);
- l'elevato numero di iterazioni in decodifica (circa 50 interazioni SISO); dev'essere sottolineato che la struttura di codifica mostra periodicità utilizzabili per realizzare decodificatori con alto parallelismo;
- la concatenazione con un codice esterno BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) (senza nessun interlacciamento), definito dai progettisti come un "margine di sicurezza a basso costo contro eventuali errori residui non prevedibili ad elevati rapporti C/N"[Nota 3] (*error floor*).

Quattro sono i tipi di modulazione presenti nella norma DVB-S2 (vedi figura 1): QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), 8PSK, 16APSK (*Amplitude Phase Shift Keying*), 32APSK. I parametri delle modulazioni 16APSK e 32APSK sono stati ottimizzati per operare su un transponder non lineare, collocando i vari punti su cerchi;

Nota 1 - Dal 2004 sarà disponibile per i prodotti elettronici consumer una tecnologia di 0,09 µm

Nota 2 - Per meglio comprendere la complessità di tali schemi si può ricordare che il decodificatore di Viterbi soft-decision dei sistemi DVB-S e DVB-DSNG decide su blocchi di soli 100 simboli senza iterazioni ed il decodificatore RS (Reed Solomon) su blocchi di circa 1600 bit (con un fattore 12 di interlacciamento), offrendo prestazioni già abbastanza buone (vedi fig. 5), a circa 3 dB dal Limite di Shannon.

Nota 3 - imputabili a imprevedibili cambi di pendenza della curva di prestazioni per valori C/N elevati.

comunque le loro prestazioni su un canale lineare sono paragonabili rispettivamente con quelle delle modulazioni 16QAM e 32 QAM.

L'adozione nel DVB-S2 di queste tecniche innovative di codifica e modulazione garantisce un aumento di capacità dell'ordine del 30% rispetto al DVB-S nelle stesse condizioni di trasmissione, in modalità CCM (*Constant Coding & Modulation*, letteralmente Modulazione e Codifica Costanti), ossia con parametri di trasmissione fissi.

Nelle applicazioni punto-punto, come l'IP Unicast, il guadagno del DVB-S2 rispetto al DVB-S può essere ancora maggiore. La funzionalità ACM (*Adaptive Coding & Modulation*, letteralmente Modulazione e Codifica Adattative) permette infatti di variare lo schema di modulazione ed i livelli di protezione dagli errori ad ogni nuovo blocco elementare di codifica, ottimizzando il sistema di trasmissione alle condizioni di ricezione d'utente. Per informare il trasmettitore delle condizioni di ricezione del singolo utente, il sistema deve operare "ad anello chiuso", utilizzando un canale di ritorno via telefono o satellite.

Il DVB-S2 è così flessibile da adattarsi a tutti i tipi di transponder satellitari esistenti, grazie ad un'ampia varietà di efficienze spettrali e rapporti segnale/rumore C/N richiesti. Inoltre, è progettato per trattare una grande varietà di formati audio-video e di dati, dall'MPEG-2 attualmente utilizzato negli standard DVB, a quelli che il progetto DVB sta attualmente definendo per le applicazioni future (H264 e VC9). Il sistema DVB-S2 si adatta a qualunque formato di flusso di dati in ingresso, compresi flussi digitali MPEG *Transport Stream* (TS), singoli o multipli, IP e ATM. Questo fa si che anche se in futuro verranno definiti altri formati, essi potranno essere impiegati senza bisogno di modificare il sistema.

Il sistema DVB-S2 è strutturato come una "scatola di attrezzi" ("*Tool-Kit*"), insieme di tecniche che permettono di coprire tutte le aree applicative, realizzabili in "single-chip" con complessità ragionevole, per permettere di utilizzare prodotti destinati al mercato di massa anche per applicazioni professionali.

Fig. 1 - Le 4 possibili costellazioni DVB-S2 prima dello "scrambler" a livello fisico.

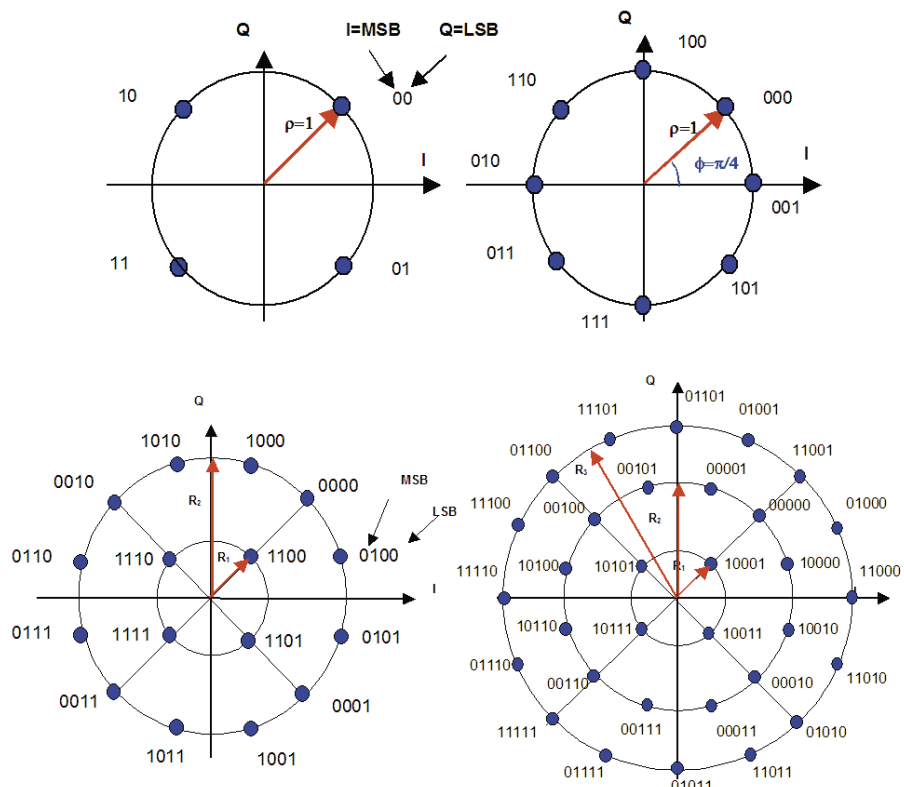
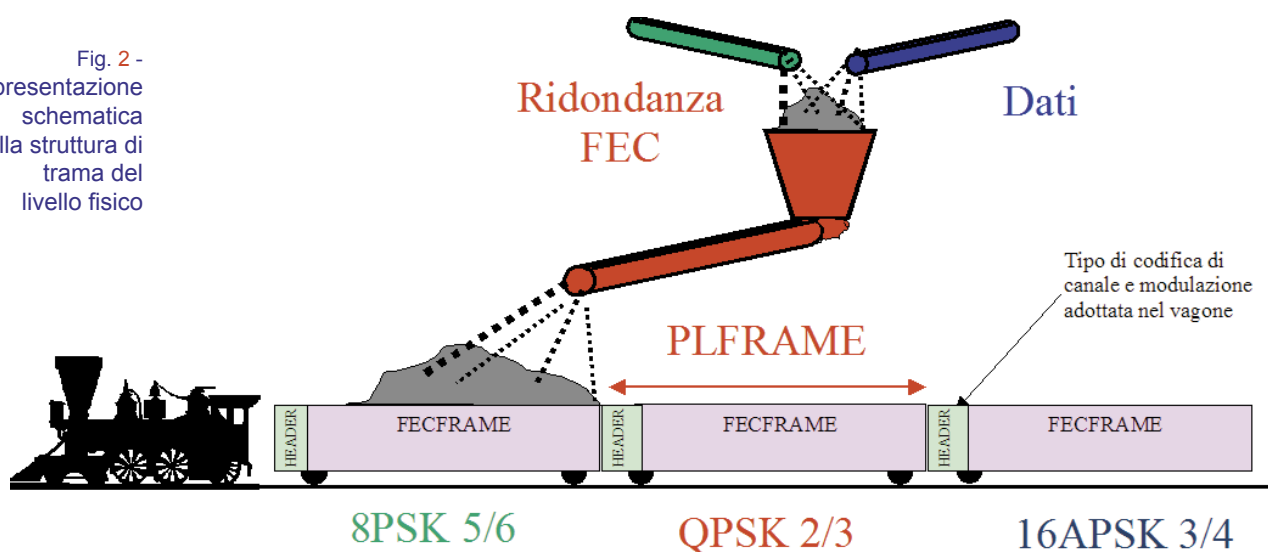



Fig. 2 - Rappresentazione schematica della struttura di trama del livello fisico

2. L'architettura del sistema

Il sistema DVB-S2 è stato progettato in base a due livelli di trama del segnale:

- il primo, a livello fisico (PL, *Physical Layer*), che trasporta pochi bit di segnalazione molto protetti;
- il secondo, a livello di banda base (BB, *BaseBand*), che trasporta molti bit di segnalazione, per consentire la massima flessibilità di adattamento del segnale di ingresso.

2.1 Struttura di trama del livello fisico

Il primo livello di trama è stato progettato in modo tale da consentire di rivelare la modulazione e i parametri di codifica prima della demodulazione e della decodifica FEC e garantire la possibilità di sincronizzare il ricevitore (recupero di portante e fase, sincronizzazione di trama) in condizioni di C/N molto critiche, dettate dalle alte prestazioni del FEC.

Il livello fisico del DVB-S2 è composto da una sequenza regolare di “vagoni” periodici (figura 2), costituenti la trama di livello fisico, denominati PLFRAME: all’interno di un vagone, lo schema di modulazione e codifica è omogeneo, ma può variare in modalità VCM (*Variable Coding & Modulation*) in vagoni adiacenti. Indipendentemente dall’applicazione (CCM o VCM), ogni PLFRAME è composto da:

° un carico utile FECFRAME di 64800 bit (FECFRAME normale) o 16200 bit (FECFRAME corto), corrispondente a un blocco codificato LDPC/BCH, generato codificando i bit d’utente secondo lo schema FEC scelto;

° L’intestazione del PLFRAME denominata PLHEADER, contenente informazioni per la sincronizzazione e la decodifica: tipo di modulazione e tasso di codifica FEC, lunghezza del FECFRAME, presenza/assenza di simboli pilota per facilitare la sincronizzazione.

L’intestazione del PLFRAME è composta sempre da 90 simboli (che usano una modulazione binaria $\Pi/2$ BPSK) e il carico utile da un numero intero multiplo di 90 simboli (ad esclusione dei simboli pilota).

Poiché l'intestazione del PLFRAME è la prima entità ad essere decodificata dal ricevitore, non può essere protetta dal potente schema LDPC/BCH. D'altra parte esso deve poter essere ricevuto correttamente anche nelle peggiori condizioni di collegamento; si è pertanto ridotto al minimo (7) il numero di bit di segnalazione, per diminuire la perdita di efficienza globale, e per ridurre la complessità della decodifica sono stati protetti con un codice a blocco specifico con tasso di codifica molto basso 7/64, adatto per decodifica a correlazione con *soft-decision*. Nel caso peggiore, assumendo un FECFRAME di 64800 bit, l'efficienza del PLFRAME è 99,3% (in assenza di simboli pilota).

2.2 Struttura di trama di banda base

La trama di banda base permette invece una segnalazione più completa della configurazione trasmissiva, con indicazione della molteplicità dei flussi d'ingresso (singolo o multiplo), del tipo (generico GS, dall'inglese *Generic Stream* o TS, *Transport Stream*), e della modalità di trama, CCM o ACM.

Grazie alla protezione del codice FEC LDPC/BCH e alla lunghezza dei blocchi di codifica, l'intestazione del blocco elementare della struttura di banda base, denominato BBFRAME, può contenere molti bit di segnalazione (80), senza perdere efficienza trasmissiva e neppure robustezza contro il rumore.

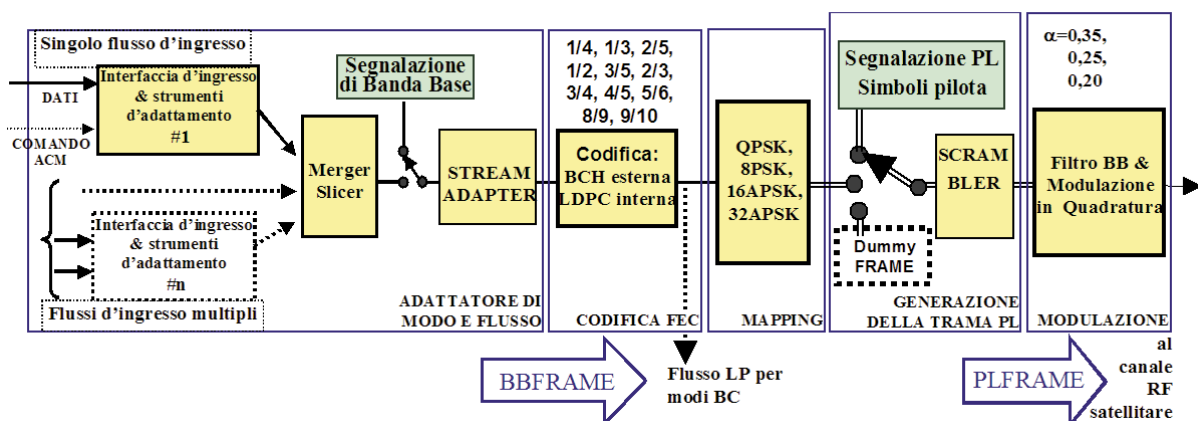
L'intestazione BB trasporta quindi altre importanti informazioni di segnalazione come: etichetta dei flussi all'ingresso del modulatore, descrizione della posizione e delle caratteristiche dei pacchetti d'utente, indicazione della presenza di bit di riempimento (*padding bits*) nel BBFRAME trasmesso, segnalazione della messa in funzione di specifici strumenti (funzione di cancellazione dei pacchetti nulli (*null packets*), funzione di sincronizzazione del flusso di ingresso, come descritto in [6], segnalazione del coefficiente di *roll-off* adottato[Nota 4].

Nota 4 - Il fattore di roll-off non deve essere segnalato a livello fisico, poiché la ricezione è possibile (sub-ottima) anche assumendo un roll-off non sconosciuto.

2.3 Diagramma a blocchi del sistema

Il sistema DVB-S2 è composto da una sequenza di blocchi funzionali, come descritto in Figura 3 [2].

Il blocco identificato come **Adattatore di modo e di flusso** svolge funzioni legate all'applicazione. Esso fornisce l'interfac-

Fig. 3 - Schema a blocchi funzionale del sistema DVB-S2.

cia per il flusso di ingresso[Nota 5], strumenti opzionali richiesti per l'ACM (ad esempio per la sincronizzazione[Nota 6] e la cancellazione dei pacchetti nulli nel caso di flussi di ingresso di tipo TS[Nota 7]) e inserisce la codifica CRC (*Cyclic Redundancy Check*) per permettere al ricevitore di rivelare la presenza di errori nel flusso ricevuto.

Oltre a ciò, nel caso di ingressi multipli, esso unisce i flussi di ingresso (**Merger**) per poi suddividerli (**Slicer**) in blocchi del codice FEC. Questi ultimi sono composti da bit presi da una sola porta di ingresso da trasmettere in modo omogeneo (stessa modulazione e codice FEC).

Si inserisce poi l'intestazione di banda base (80 bit) davanti al Campo Dati per informare il ricevitore del formato del flusso di ingresso e del tipo di "adattamento" utilizzato. Nel caso i dati utente disponibili per la trasmissione non siano sufficienti a riempire completamente il BBFRAME, si provvederà a completarlo con bit di riempimento. In ultimo, nel blocco denominato "**Stream Adapter**" il BBFRAME viene moltiplicato per una sequenza pseudocasuale (**Scrambler**), che uniformemente distribuisce gli zeri e gli uno del BBFRAME, evitando la presenza di sequenze critiche per il codice FEC.

Il blocco **Codifica FEC** effettua la codifica concatenata del codice esterno BCH e del codice interno LDPC. I rapporti di codifica del codice LDPC interno sono 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10, da scegliersi congiuntamente allo schema di modulazione in base ai requisiti del sistema. I rapporti 1/4, 1/3 e 2/5 sono stati introdotti per operare in combinazione con lo schema di modulazione QPSK, per collegamenti di bassa qualità, dove il livello del segnale è al di sotto del livello di rumore. Le simulazioni al computer hanno dimostrato la superiorità di tali modalità rispetto alla modulazione BPSK combinata con velocità di codifica 1/2, 2/3 e 4/5. A seconda dell'area di applicazione i blocchi di codice FEC (FECFRAME), possono avere una lunghezza di 64800 o 16200 bit. L'introduzione di due possibili valori è stata dettata da due opposte necessità. Le prestazioni in funzione del rapporto C/N migliorano al crescere della lunghezza dei blocchi di codifica, ma aumenta anche molto il ritardo globale della catena trasmissiva. Quindi, per applicazioni non critiche per i ritardi (come ad esempio la diffusione di programmi), sono preferibili i blocchi lunghi, mentre per le applicazioni interattive un blocco più corto può essere più efficiente, in quanto un pacchetto di informazione "corto" viene immediatamente messo in onda dalla stazione trasmittente. La modulazione e il codice FEC sono costanti all'interno del FECFRAME, e possono cambiare in differenti FECFRAME nelle modalità VCM e ACM. Oltre a ciò il segnale trasmesso può contenere FECFRAME corti e normali. Per le modulazioni 8PSK, 16APSK e 32APSK ai bit codificati FEC si applica un interallacciatore di bit, per separare i bit assegnati allo stesso punto della costellazione in trasmissione.

Il blocco **Mapping** associa i bit alla costellazione: QPSK, 8PSK, 16APSK o 32APSK a seconda dell'applicazione. Tipicamente, per applicazioni broadcast vengono proposte le costellazioni QPSK e 8PSK, poiché sono di fatto modulazioni

Nota 5 - Le sequenze di ingresso possono essere flussi di trasporto TS singoli o multipli, flussi generici GS singoli o multipli, a pacchetti o continui.

Nota 6 - L'elaborazione dati nel DVB-S2 può generare ritardi di trasmissione variabili. Questo blocco permette di garantire velocità e ritardi di trasmissione globali costanti (per flussi di ingresso a pacchetti).

Nota 7 - Per ridurre la velocità di informazione e aumentare la protezione dagli errori nel modulatore. Il processo permette il reinserimento dei pacchetti nulli nel ricevitore, nel punto esatto in cui si trovavano all'origine.

ad inviluppo costante e possono essere usate su transponder da satellite non lineari portati vicino alla saturazione. Le modalità 16APSK e 32APSK invece sono principalmente orientate ad applicazioni professionali; possono anche essere impiegate per il broadcasting, ma richiedono la disponibilità di un più elevato livello di C/N al ricevitore e l'adozione di avanzati metodi di pre-distorsione nella stazione di up-link per attenuare gli effetti di non-linearità del transponder. Sebbene non permettano efficienze di potenza analoghe agli schemi ad inviluppo costante, offrono però maggiore capacità trasmissiva.

Il blocco di **Generazione della trama PL,** sincrono con i FECFRAME, gestisce l'inserzione dell'intestazione di livello fisico e dei simboli pilota opzionali (2,4 % di perdita di capacità), di PLFRAME fittizi (**Dummy Frame**) in assenza di dati utili pronti per la trasmissione, e la moltiplicazione per una sequenza pseudocasuale (**Scrambler**) per la dispersione dell'energia.

Il **filtraggio in banda base e la modulazione in quadratura** si applicano per modellare lo spettro del segnale e per generare il segnale RF. Il filtro usato in trasmissione è la radice quadrata del filtro a coseno rialzato con tre possibili coefficienti di roll-off α: 0.35 per continuità con il DVB-S, 0.25 e 0.20 per i casi in cui vi siano maggiori limitazioni di banda.

2.4 I modi compatibili con i sistemi di prima generazione

Il successo ottenuto dal DVB-S ha portato ad una elevata diffusione dei ricevitori DVB-S per l'utente consumer. Questo mercato consolidato rende molto difficile pensare ad un brusco cambiamento tecnologico verso il DVB-S2 per molti broadcaster, anche tenendo conto del fatto che, essendo spesso i ricevitori forniti in comodato d'uso, una mutazione tecnologica comporterebbe investimenti notevoli da parte degli operatori per la sostituzione dei decoder DVB-S. Inoltre esistono servizi pubblici gratuiti, che nel caso di un passaggio al DVB-S2 non potrebbero più essere fruiti con gli attuali ricevitori DVB-S. In uno scenario di questo tipo, il DVB ha ritenuto importante prevedere per il periodo di transizione la possibilità di avere la compatibilità con i sistemi preesistenti, per mantenere in operatività i sistemi DVB-S e contemporaneamente permettere di aumentare la capacità trasmissiva per i servizi dedicati ai nuovi più sofisticati ricevitori DVB-S2. Solo alla fine del processo di transizione, quando l'intero parco ricevitori DVB-S sarà stato sostituito da ricevitori DVB-S2, il segnale trasmesso dovrebbe essere modificato verso il sistema non compatibile, così da sfruttare completamente le potenzialità del DVB-S2.

Per poter realizzare lo scenario di transizione appena descritto, nel DVB- S2 sono state dunque inserite, in modo opzionale, modalità trasmissive compatibili con il sistema DVB-S. Lo standard prevede di inviare su un singolo canale satellitare due flussi di dati TS, con livelli diversi di protezione dagli errori, il primo ad Alta Priorità (*High Priority*, HP), compatibile con i ricevitori DVB-S (secondo la norma ETSI EN 300421) [1], e anche con i ricevitori DVB-S2, il secondo a Bassa Priorità (*Low Priority*, LP), compatibile soltanto con i ricevitori DVB-S2 [8].

La compatibilità con i sistemi precedenti può essere realizzata attraverso due approcci:

- **modulazioni stratificate** (*Layered Modulations*), dove un segnale DVB-S2 e uno DVB-S sono combinati in modo asincrono sul canale a radio-frequenza, con il segnale

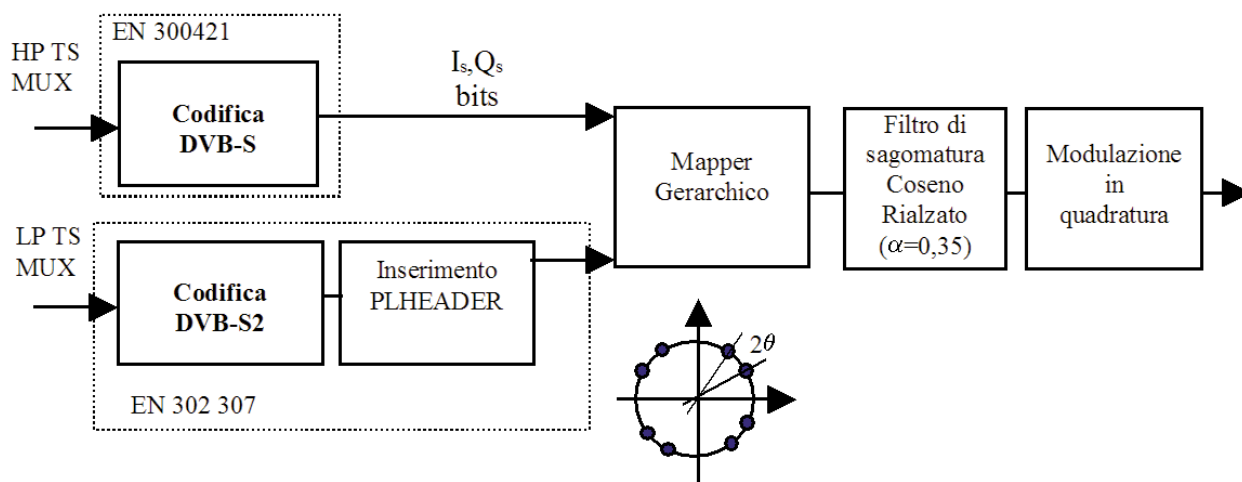



Fig. 4 - Diagramma dello schema a blocchi funzionale di un sistema DVB-S2 gerarchico, compatibile con i ricevitori DVB-S:.

DVB-S trasmesso ad un livello di potenza assai più elevato del DVB-S2. Poiché il segnale risultante mostra grandi variazioni di inviluppo, esso deve essere trasmesso su un transponder quasi-lineare, lontano dalla saturazione. Come alternativa, per meglio sfruttare le risorse di potenza del satellite, i segnali HP e LP, possono essere trasmessi indipendentemente sulla tratta in salita del collegamento satellitare (*up-link*), amplificati ciascuno da un amplificatore da satellite indipendente (HPA) portato vicino alla saturazione, ed essere combinati sulla tratta di discesa (*down link*). Ciò richiede però la progettazione ed il lancio di una nuova generazione di satelliti

.

- **modulazione gerarchica**, dove i due flussi di dati HP e LP, sono uniti in modo sincrono a livello di simbolo di modulazione su una costellazione 8PSK non uniforme[Nota 8]. Poiché il segnale risultante ha un inviluppo quasi-costante, esso può essere trasmesso su un singolo transponder, spinto quasi alla saturazione.

Nota 8 - Le modulazioni gerarchiche sono anche usate nella norma DVB-T [EN 300744].

Nel seguito viene descritta l'implementazione DVB-S2 dei modi compatibili attraverso le modulazioni gerarchiche. Lo standard non definisce invece regole per la realizzazione della compatibilità attraverso le modulazioni stratificate.

La figura 4 rappresenta schematicamente la struttura del sistema di trasmissione gerarchica: essa è composta di due rami, il primo conforme allo standard DVB-S per il flusso ad Alta Priorità (HP), il secondo che aumenta la dimensionalità della costellazione ad un 8PSK non-uniforme per il livello a Bassa Priorità (LP).

Per la modulazione gerarchica, il segnale LP è codificato BCH e LDPC, con rapporti di codifica LDPC possibili 1/4, 1/3, 1/2 o 3/5. Poi, il mapper gerarchico genera il punto della costellazione 8PSK non uniforme: i due bit HP DVB-S definiscono un punto della costellazione QPSK, mentre il bit proveniente dal codificatore DVB-S2 LDPC impone una rotazione addizionale $\pm\theta$ prima della trasmissione.

L'angolo θ può essere selezionato dall'operatore a seconda delle esigenze di servizio ed il suo valore non viene segnalato.

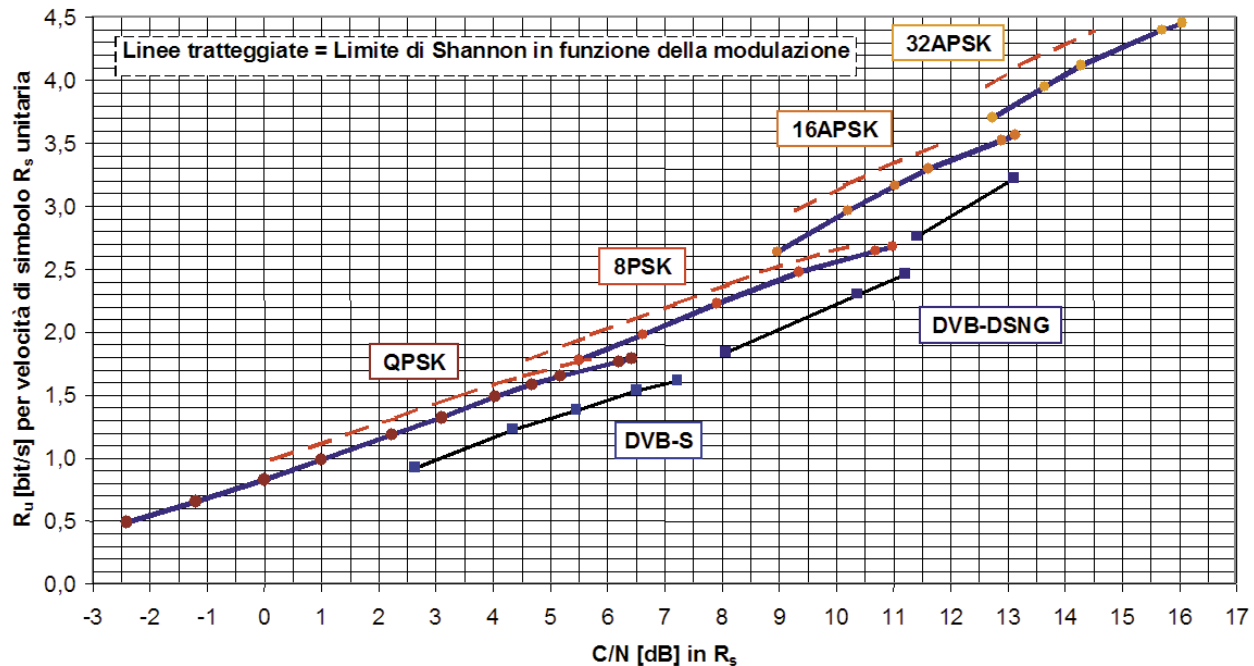



Fig. 5 - Grafico dell'efficienza spettrale in funzione del rapporto C/N (C/N si riferisce alla potenza media) richiesto, ottenuto attraverso simulazioni al calcolatore sul canale AWGN (demodulazione ideale).

3. Le prestazioni del sistema

Il DVB-S2 permette di selezionare lo schema di modulazione ed il tasso di codifica a seconda dei requisiti del servizio e delle caratteristiche del transponder da satellite impiegato. L'efficienza spettrale va da 0.5, usando la modulazione QPSK 1/4, a 4.5 bit/s/Hz, usando la configurazione 32 APSK 9/10, ed il rapporto segnale rumore da –2.4 dB a 16 dB (assumendo canale AWGN e demodulazione ideale), come illustrato in figura 5. I risultati sono stati ottenuti attraverso simulazioni al calcolatore valutanti le prestazioni dei sistemi DVB-S2 e DVB-S/DVB-DSNG [10] ad un tasso d'errore sul pacchetto (PER, Packet Error Rate) TS di 10^{-7}, corrispondente circa a un pacchetto errato per ora di trasmissione in un servizio video a 5 Mbit/s[Nota 9].

Nota 9 - Si deve segnalare che questa definizione è leggermente differente dalla definizione adottata nella norma EN 300421. Inoltre i margini d'implementazione riportati nelle normative EN 300421 e EN 301210, non sono inclusi in Figura 5.

Su canale ideale affetto esclusivamente da rumore additivo Gaussiano bianco AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), il risultato è un aumento della capacità trasmissiva dell'ordine del 20-35% rispetto al DVB-S e DVB-DSNG nelle stesse condizioni di trasmissione, o una ricezione di 2-2.5 dB più robusta per la stessa efficienza spettrale.

Il sistema DVB-S2 può essere usato nelle configurazioni "singola portante per transponder" o "multiportante per transponder" (Multiplazione a divisione di frequenza FDM, *Frequency Division Multiplexing*).

Nella configurazioni a singola portante per transponder, la velocità di trasmissione R_s può essere adattata alla larghezza di banda BW del transponder (a –3dB), per ottenere la massima capacità trasmissiva compatibile con un degradamento accettabile del segnale dovuto alle limitazioni della larghezza di banda del transponder. Per tenere conto di possibili instabilità ter-

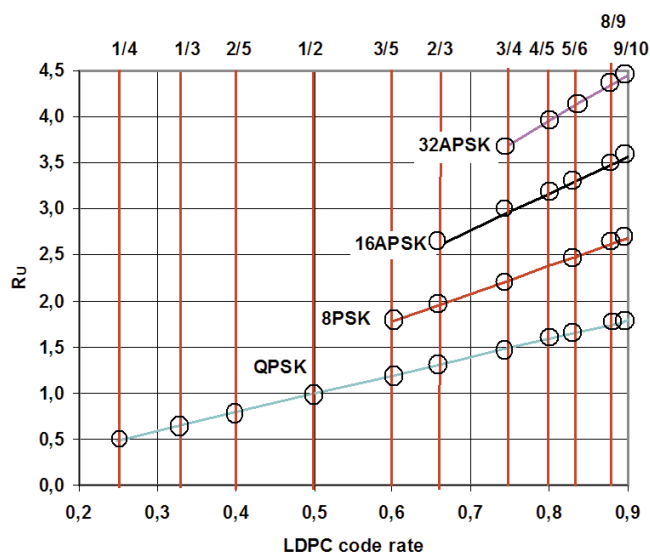



Fig. 6 - Esempi di bit-rate utile R_u in funzione del tasso di codifica LDPC per velocità di simbolo R_s unitaria

miche e di invecchiamento, bisogna fare riferimento alla maschera di risposta in frequenza del transponder. Per aumentare la capacità trasmissiva o per ridurre il degradamento si può fare uso di equalizzatori di ritardo di gruppo al trasmettitore.

Nella configurazione multi-portante FDM, R_s deve essere adattato all'intervallo di frequenza BS assegnato al servizio dal piano delle frequenze, per ottimizzare la capacità trasmissiva e contemporaneamente mantenere ad un livello accettabile le reciproche interferenze tra le portanti adiacenti.

La figura 6 mostra esempi della capacità utile R_u realizzabile dal sistema al variare della modulazione e del rapporto di codifica LDPC, assumendo R_s come velocità di simbolo. La velocità di simbolo R_s corrisponde alla larghezza di banda a –3dB del segnale modulato. R_s $(1+\alpha)$ corrisponde alla larghezza di banda teorica totale del segnale dopo la modulazione, e α rappresenta il fattore di *roll-off* della modulazione.

I valori si riferiscono alla configurazione broadcast con modalità CCM, FECFRAME di lunghezza normale (64800), nessun bit di riempimento né segnale pilota (i segnali pilota ridurrebbero l'efficienza di circa il 2.4%).

Il rapporto tipico BW/R_s o BS/R_s è $(1+\alpha) = 1.35$: questa scelta permette di rendere trascurabile il degradamento di C/N dovuto alle limitazioni della larghezza di banda del transponder ed alle interferenze del canale adiacente su un canale lineare.

L'uso di un coefficiente di *roll-off* più stretto $\alpha = 0.25$ e $\alpha = 0.20$ può consentire un aumento della capacità trasmissiva, ma può anche produrre un più ampio degradamento su canale satellitare non-lineare in funzionamento a singola portante.

Rapporti BW/R_s minori di $1+\alpha$ possono anche essere adottati, ma dovrebbero essere effettuati attenti studi caso per caso, per evitare interferenze e livelli di distorsione inaccettabili.

Le modulazione ad inviluppo quasi-costante, QPSK e 8PSK, sono molto efficienti in termini di potenza per trasmissioni via satellite in configurazioni a singola portante per transponder, poiché sono in grado di operare con il transponder portato vicino alla saturazione. Le modulazioni 16APSK e 32APSK invece, essendo intrinsecamente più sensibili alle distorsioni non lineari, richiederebbero transponder quasi-lineari (cioè con un *Output-Back-Off*, OBO, più elevato). Per migliorarne le prestazioni in termini di efficienza di potenza è possibile utilizzare tecniche di compensazione non lineare nella stazione trasmittente di terra (*up-link*) [5].

Nelle configurazioni FDM, dove più portanti occupano lo stesso transponder, quest'ultimo dev'essere mantenuto nella zona di operatività quasi-lineare (cioè con OBO elevato) per evitare eccessive interferenze

Modo di trasmissione	Senza predistorsione Senza rumore di fase	Con predistorsione dinamica Senza rumore di fase	Con predistorsione dinamica Con rumore di fase
QPSK 1/2	0.6 (OBO=0.4)	0.5 (IBO=0 dB; OBO=0.4)	0.6
8PSK 2/3	1.0 (OBO=0.3)	0.6 (IBO=0;OBO=0.4)	0.9
16APSK 3/4	3.2 (OBO=1.7)	1.5 (IBO=1.0; OBO=1.1)	1.9
32APSK 4/5	6.2 (OBO=3.8)	2.8 (IBO=3.6; OBO=2.0)	3.6

Tab. 1 - Perdita di rapporto CSAT/N [dB] su canale satellitare (risultati di simulazione). Configurazione a singola portante per transponder, punto di lavoro ottimo del TWTA (IBO=Input Back Off)

di inter-modulazione fra segnali. In questo caso, per il bilanciamento del collegamento (*link budget*), si possono adottare i valori di C/N valutati per il canale AWGN.

La tabella 1 mostra, per la configurazione a singola portante per transponder, il degradamento del rapporto C/N al punto di lavoro dell'amplificatore ad onde progressive TWTA (dall'inglese *Travelling Wave Tube Amplifier*) ottimo dal punto di vista operativo[Nota 10], ottenuto tramite simulazioni al calcolatore, usando i modelli del canale satellitare e la maschera del rumore di fase del ricevitore riportati in [2]. I casi analizzati si riferiscono a TWTA non linearizzato e rumore di fase del convertitore di frequenza d'ingresso del ricevitore LNB (dall'inglese Low-Noise Block) di tipo consumer.

C_{sat} è la potenza di una portante non modulata alla saturazione dell'amplificatore di potenza HPA (dall'inglese High Power Amplifier), OBO è il rapporto di potenza misurata in dB fra la portante non modulata alla saturazione e la portante modulata (dopo il filtro d'uscita del satellite OMUX).

I dati del degradamento dovuti al rumore di fase si riferiscono ad un algoritmo di recupero della portante basata sull'utilizzo dei "simboli pilota" [5].

I dati mostrano il grande vantaggio offerto dall'uso di algoritmi di pre-distorsione dinamica per gli schemi 16APSK e 32APSK. I degradamenti dovuti al rumore di fase per le costellazioni APSK, ed in particolare per il 32APSK, possono essere considerati pessimistici, poiché si riferiscono ad LNB di tipo consumer mentre per applicazioni professionali possono essere impiegati dispositivi migliori con costi addizionali trascurabili.

La figura 7 mostra, nel piano "rapporto C/N - efficienza spettrale", le prestazioni complessive del sistema DVB-S2 via satellite, paragonate al DVB-S e al DVB-DSNG[Nota 11]. Il guadagno del DVB-S2 nei confronti del DVB-S e del DVB-DSNG in termini di C/N, per una determinata efficienza spettrale, rimane sostanzialmente costante attorno a 2-2.5 dB, confermando il risultato ottenuto su canale AWGN. Analogamente, il guadagno di capacità ad un dato rapporto C/N disponibile si conferma in un intervallo compreso tra 0.3 e 0.4 bit/s/Hz (la perdita dovuta ai simboli pilota pari al 2.6% non è indicata, poiché i simboli piloti sono opzionali). Paragonate alle simulazioni su canale AWGN, le curve di simulazione su canale satellitare, per le costellazioni 16APSK e 32APSK, sono più allineate alle curve degli schemi QPSK e 8PSK, a causa della limitazione di

Nota 10 - Parametri di simulazione [5]: Rs=27.5 Mbaud, roll-off= 0.30 (valore non disponibile nel DVB-S2, intermedio tra 0.35 e 0.25).

Nota 11 - I punti circolettati sono stati ottenuti tramite simulazione [5], le altre configurazioni sono estrapolate. I degradamenti della Tabella 1 sono aggiunte ai dati simulati su canale AWGN, per la corrispondente costellazione, trascurando gli effetti del rapporto di codifica sul degradamento; per le configurazioni del DVB-DSNG, i degradamenti delle costellazioni M-QAM sono assimilate al corrispondente schema M-APSK.

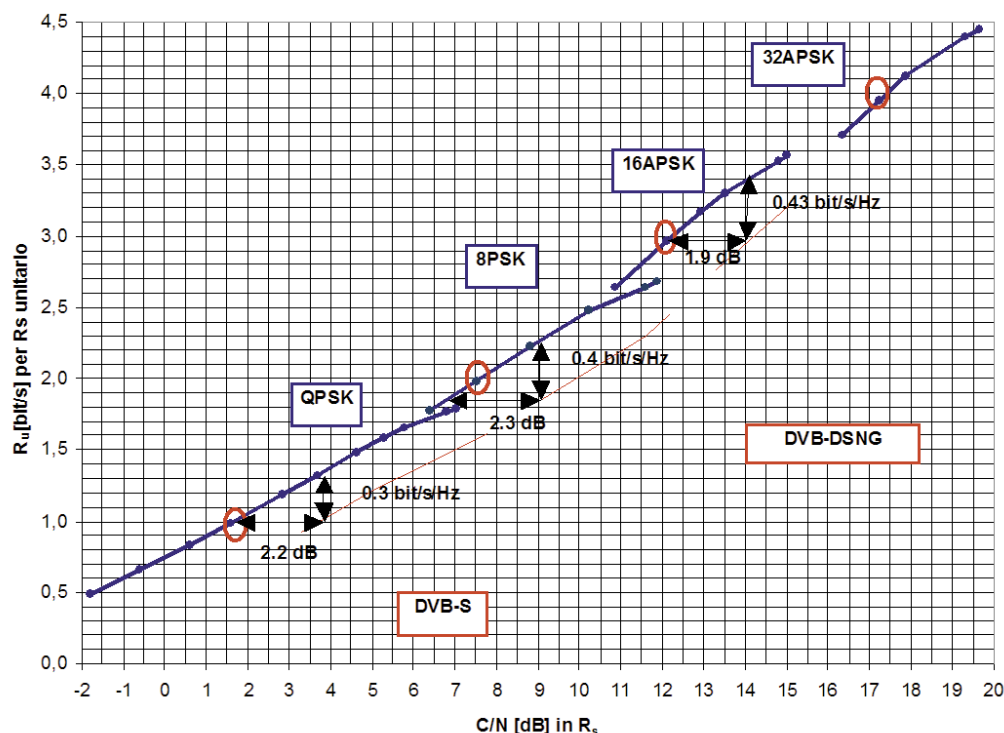



Fig. 7 - Esempi di R_u in funzione del rapporto C/N richiesto da satellite, in configurazione a singola portante per transponder.

ampiezza delle caratteristiche non-lineari del TWTA.

4. Esempi di possibili usi del sistema

Per meglio chiarire le funzionalità e la flessibilità del DVB-S2, nel seguito sono illustrati esempi che vanno dalla trasmissione televisiva basata sulle modalità CCM e VCM fino alle applicazioni TV professionali e ai servizi IP unicast per l'utente consumer.

4.1 Diffusione di televisione a definizione convenzionale SDTV in modalità CCM

La tabella 2 confronta servizi diffusivi di televisione a definizione convenzionale

Tab. 2: Esempi di confronto tra i sistemi DVB-S2 e DVB-S per diffusione Televisiva

EIRP da satellite (dBW)	*51*		*53.7*	
Sistema	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Modulazione & codifica	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	8PSK 2/3
Velocità di simbolo (Mbaud)	27.5 (α=0.35)	30.9 (α=0.20)	27.5 (α=0.35)	29.7 (α=0.25)
C/N (in 27.5 MHz) (dB)	5.1	5.1	7.8	7.8
Bit-rate utile (Mbit/s)	33.8	46 (guadagno=36%)	44.4	58.8 (guadagno=32%)
Numero di programmi SDTV	7 MPEG-2 15 AVC	10 MPEG-2 21 AVC	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 26 AVC

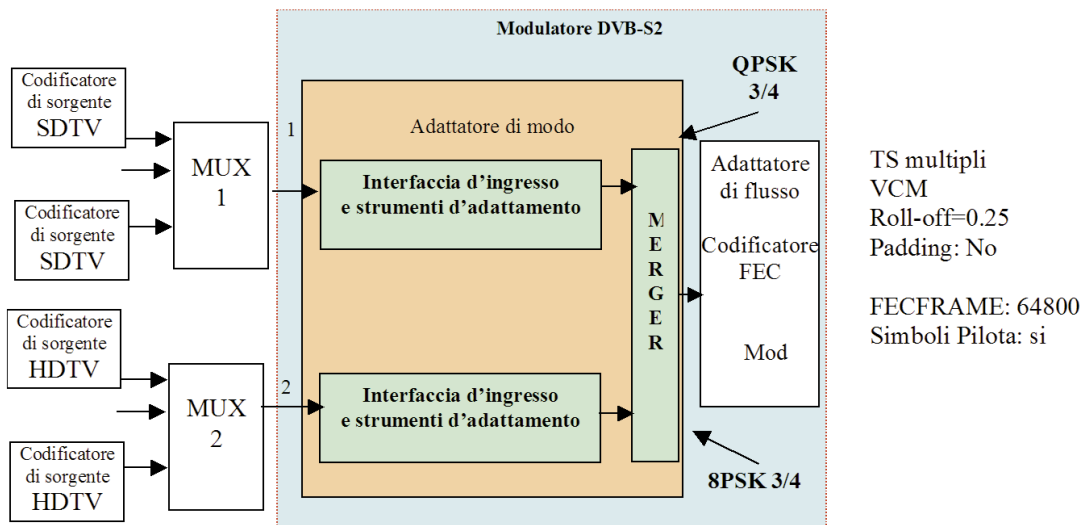



Fig. 8 - Esempio di configurazione DVB-S2 per la trasmissione SDTV e HDTV utilizzando VCM

SDTV secondo gli standard DVB-S2 e DVB-S, diffusi attraverso transponder satellitari Europei con larghezza di banda di 36 MHz, e ricevuti mediante un'antenna con diametro di 60 cm. I bit-rate utili prodotti dai codificatori video sono: 4.4 Mbit/s per una codifica tradizionale MPEG-2 o 2.2 Mbit/s utilizzando sistemi di codifica video avanzati (AVC) che il Progetto DVB sta attualmente definendo per future applicazioni. Il rapporto C/N richiesto dai due sistemi, DVB-S e DVB-S2, è stato equilibrato utilizzando modi di trasmissione diversi e sintonizzando adeguatamente il fattore roll-off e la velocità di simbolo del DVB-S2. I risultati confermano il guadagno in termini di capacità del DVB-S2 rispetto al DVB-S, pari a oltre il 30%.

Va inoltre notato come, dalla combinazione di DVB-S2 e codifica AVC, sia possibile ottenere un consistente numero (da 21 a 26) di canali SDTV per transponder, riducendo drasticamente il costo per canale della capacità trasmissiva del satellite.

4.2 Trasmissione di TV convenzionale SDTV e ad alta definizione HDTV con protezione di canale differenziata

Il sistema DVB-S2 può fornire servizi diffusivi su TS multipli, fornendo una protezione contro gli errori differente per ogni multiplex (in modalità VCM)[Nota 12].

Un'applicazione tipica è la trasmissione di un multiplex molto protetto contro gli errori per la televisione SDTV e di un multiplex meno protetto per l'HDTV. La figura 8 mostra un esempio di configurazione del lato trasmittente. Supponendo di trasmettere a 27.5 Mbaud e di utilizzare gli schemi 8PSK 3/4 e QPSK 2/3, si dispone di un bit-rate utile di 40Mbit/s per due programmi HDTV e di 12 Mbit/s per due-tre programmi SDTV. La differenza nel rapporto C/N richiesto è di circa 5 dB.

Nota 12 - Si noti che il sistema DVB-S2 non è in grado di diversificare la protezione contro gli errori all'interno dello stesso TS MUX

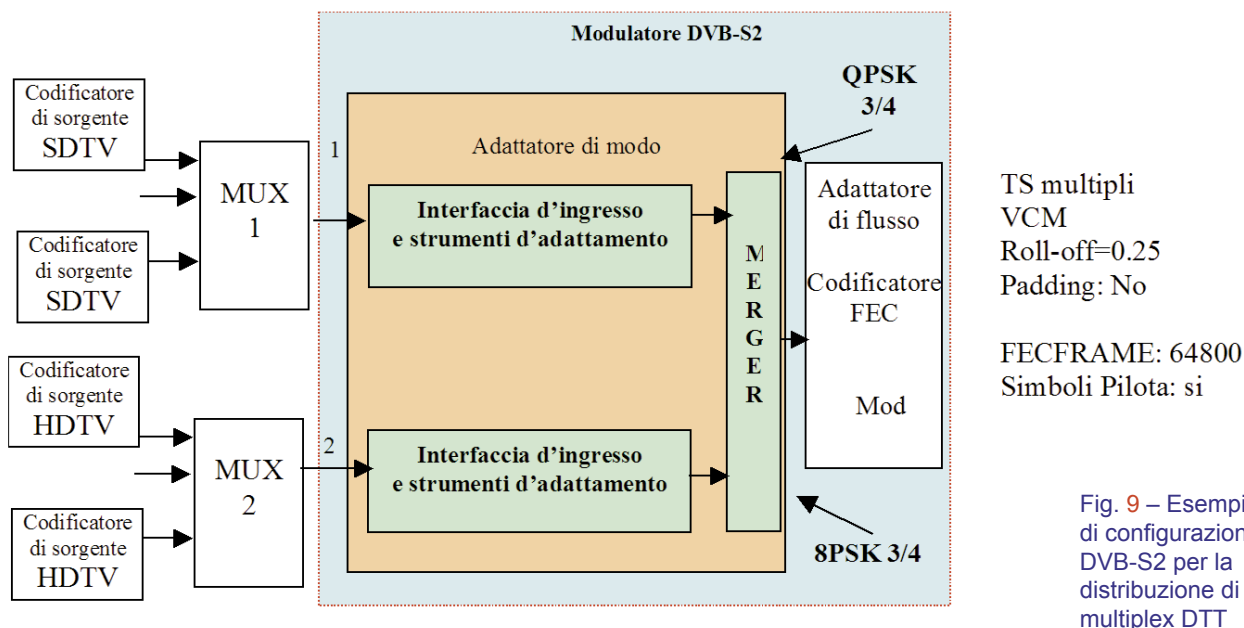



Fig. 9 – Esempio di configurazione DVB-S2 per la distribuzione di multiplex DTT

4.3 Distribuzione del multiplex MPEG multipli a trasmettitori DTT

Molti paesi del mondo stanno introducendo la televisione digitale terrestre (DTT, *Digital Terrestrial Television*) ed il satellite è uno dei mezzi candidati a distribuire i flussi MPEG ai trasmettitori digitali terrestri. I sistemi attualmente operativi si basano sul sistema DVB-S, che però permette la trasmissione di un singolo multiplex MPEG per segnale. Il risultato è che per la distribuzione di n multiplex MPEG, dovrebbero essere trasmesse n portanti per transponder, richiedendo perciò un elevato OBO dell'amplificatore satellitare HPA (o in alternativa l'uso di n transponder). L'adozione del sistema DVB-S2 permette la distribuzione di più multiplex MPEG, usando una configurazione a singola portante per transponder, ottimizzando così l'efficienza in potenza attraverso la saturazione dell' HPA del satellite.

Su un transponder a larghezza di banda BW = 36MHz può essere trasmessa una velocità di simbolo di 30 Mbaud usando un roll-off α di 0.20. Così per trasmettere due Multiplex DTT a 24 Mbit/s ciascuno, si richiede un'efficienza spettrale di 1.6 [bit/s/Hz], corrispondente a una modulazione QPSK 5/6. Il rapporto C/N richiesto è di circa 6dB in 30 MHz. La figura 9 mostra un esempio di configurazione del lato trasmittente. Per un collegamento con parametri come da tabella 3, la disponibilità del 99.9 % dell'anno medio può essere ottenuta con un'antenna in trasmissione di 3 m (con EIRP da 64 dBW), un trasponder portato quasi in saturazione a cielo chiaro, e antenne riceventi da 1.2 m. Con il modo 8PSK 2/3 del DVB-DSNG e allocando due portanti FDM con velocità di simbolo pari a 13.3 Mbaud in 36 MHz, il rapporto C/N richiesto al ricevitore sarebbe di 9 dB nella banda di ricezione. Per garantire una disponibilità del 99.9% dell'anno medio l'EIRP della stazione trasmittente deve essere di 75 dBW, il transponder del satellite portato a OBO=5.5 dB per portante a cielo chiaro e l'antenna ricevente non può avere diametro minore di 2 m. Quindi il DVB-S2 permetterà l'installazione di

antenne significativamente più piccole in ricezione (diametro quasi dimezzato) e stazioni di trasmissione più piccole[Nota 13].

4.4 ACM per servizi one–to-one

Quando viene usato per applicazioni interattive punto-punto come l'IP unicast, i vantaggi del DVB-S2 sono ancora più evidenti. L'ACM infatti permette di recuperare da 4 a 8 dB di potenza (il cosiddetto "margine da cielo chiaro"), tipicamente sprecati [Nota 13] nei collegamenti satellitari convenzionali impieganti schemi CCM, raddoppiando o addirittura triplicando la capacità media del satellite e riducendo drasticamente i costo del servizio [7]. Inoltre il guadagno dell'ACM rispetto al CCM aumenta in condizioni critiche di propagazione: quindi l'ACM è fondamentale per le bande di frequenza più alte (come ad es. la banda Ka) e per le zone climatiche tropicali.

La figura 10 [7] mostra lo schema di un collegamento da satellite ACM, composto dal Gateway (GW) ACM, dal modulatore ACM DVB-S2 , dalla stazione di up-link, dal satellite, dalla stazione satellitare ricevente(ST), collegata al gateway ACM attraverso un canale di ritorno.

Il modulatore DVB-S2 ACM opera ad una velocità di simbolo costante, poiché si assume costante la larghezza di banda del transponder. L'ACM è implementato dal modulatore DVB-S2 attraverso la trasmissione di una sequenza in multiplazione a divisione di tempo (TDM, Time Division Multiplexing) di sequenze di PLFRAME, dove il formato di codifica e modulazione possono cambiare ad ogni nuovo PLFRAME.

Quindi la continuità di servizio è ottenuta, durante i periodi con forti attenuazioni da pioggia, riducendo il bit-rate d'utente, e contemporaneamente aumentando la ridondanza FEC e/o la robustezza della modulazione.

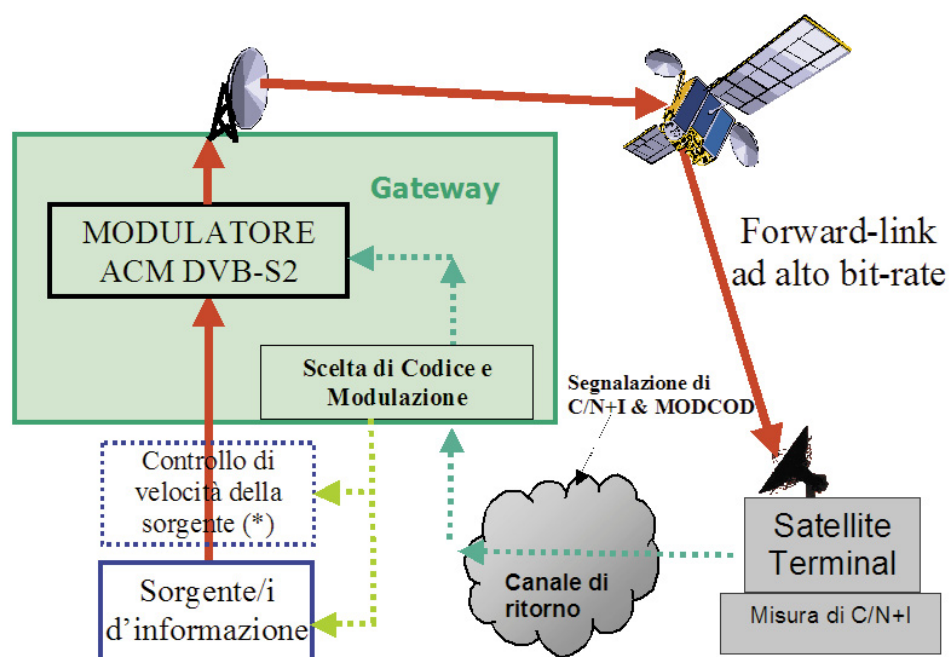
L'adattività del livello fisico è ottenuta in questo modo:

(i) ciascun terminale satellitare d'utente (ST) misura la condizione del canale

Nota 13 - La valutazione si basa sul metodo di analisi semplificato descritto in [11]. I rapporti C/N richiesti sono ricavati dalla figura 5; ad essi sono stati aggiunti margind'implementazione derivati da [1] e [10] per le diverse configurazioni.

Tab. 3 - Esempio di parametri di collegamento satellitare

Tratta in salita	Zona climatica ITU	L
	Frequenza	14.29 GHz
	Perdite atmosferiche e attenuazione da pioggia per il 99.9% dell'anno medio	0.2 +5.6 dB
Satellite	G/T(dB/°K)	4.3
	EIRP trasmesso alla saturazione: 46.5 dBW	
Tratta in discesa	Zona climatica ITU	K
	Frequenza	10.99 GHz
	efficienza d'antenna	60%
	perdite d'accoppiamento	0.5 dB
	perdite di puntamento	0.5 dB
	cifra di rumore LNB	1.1 dB
	Perdite atmosferiche e attenuazione da pioggia per il 99.9% dell'anno medio	0.1+2.4 dB

Fig. 10 - Diagramma a blocchi di un collegamento DVB-S2 in modalità ACM

(C/N + I disponibile) e lo riporta attraverso il canale di ritorno al gateway ACM;

(ii) le misure del terminale ST sono prese in considerazione dal Gateway per scegliere il livello di protezione assegnato per i pacchetti di dati indirizzati al terminale ST;

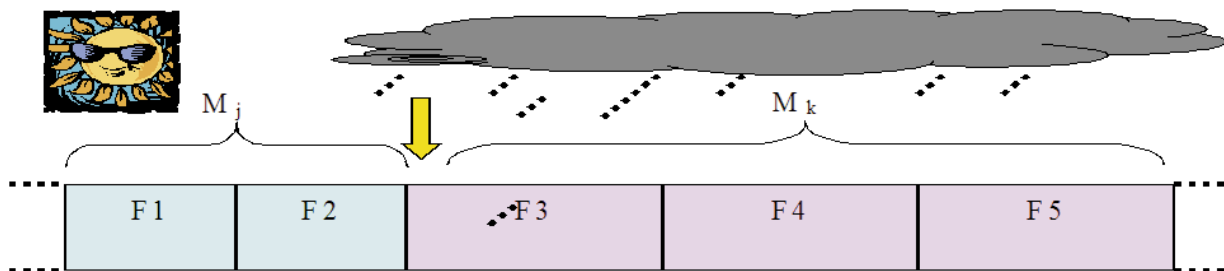
(iii) per evitare eccesso e perdita di informazione durante le perturbazioni, viene implementato un meccanismo di controllo del bit-rate utile, adattando il traffico offerto alla capacità di canale disponibile. Questa funzionalità può essere implementata in vari modi, in accordo con i requisiti specifici del servizio e con l'architettura della rete, come spiegato in [7].

Sono due i metodi [7] in cui il gateway può imporre il livello di protezione contro gli errori da applicare a una limitata porzione di dati utili:

1. attraverso il comando ACM (vedere il diagramma del sistema a blocchi in Figura 3);

2. attraverso la suddivisione dei dati di utente di più flussi (uno per ogni livello di protezione richiesto), e inserendo ognuno di questi in un differente ingresso del modulatore DVB-S2. Il modulatore applicherà un livello di protezione costante e idoneo a ciascun flusso in ingresso.

Un punto cruciale nella definizione della funzionalità ACM è il ritardo dell'anello adattativo del livello fisico, poiché è strettamente connesso alla capacità del sistema di adattarsi alle variazioni del canale di trasmissione. Se il ciclo di adattamento è veloce, la continuità del servizio può essere garantita anche durante improvvise variazioni delle attenuazioni da piog-

Fig. 11 - Variazione della protezione dagli errori dei PL FRAMEs in presenza di fading da pioggia

gia, allo stesso tempo minimizzando il margine sul rapporto segnale/rumore C/N per massimizzare la capacità complessiva del sistema. Il ritardo del ciclo di controllo deve essere mantenuto il più basso possibile: esso tipicamente include alcune decine di millisecondi per la valutazione del C/N +I nell'ST, alcune centinaia di millisecondi per il transito dell'informazione sul collegamento di ritorno, alcune centinaia di millisecondi nel gateway ACM e nel modulatore, circa 250 millisecondi nel collegamento diretto via satellite. Poiché le massime velocità di variazione del rapporto C/N+I in banda Ka sono di circa 0.5 dB/secondo in presenza di forti perturbazioni [9], e poiché la distanza in termini di C/N tra due livelli di protezione adiacenti per il sistema DVB-S2 è di circa 1 dB, ritardi sull'anello di controllo inferiori al secondo dovrebbero permettere di minimizzare la perdita di efficienza trasmissiva e massimizzare la capacità del sistema.

4.5 Servizi DSNG attraverso l'impiego dell'ACM

Nei collegamenti punto-punto, dove un singolo TS è inviato ad un'unica stazione ricevente (es. DSNG, Digital Satellite News Gathering), l'ACM permette di proteggere i pacchetti di dati seguendo le variazioni C/N+I sul canale satellitare verso la postazione ricevente.

Quando le condizioni di propagazione cambiano (istante indicato dalla freccia gialla n Figura 11), i PLFRAME F_i commutano dalla modalità con protezione M_j a M_k, per garantire la continuità del servizio. Grazie a strumenti di adattamento previsti nel DVB-S2 e descritti in dettaglio in [7], si riescono a garantire bit-rate del flusso TS e ritardo end-to-end costanti, come richiesto dall'MPEG.

Il sistema DVB-S2 può operare come segue (vedere figura 10):

1. L'unità di controllo del bit-rate mantiene il bit-rate del codificatore al livello massimo compatibile con le condizioni di canale C/N+I attuali. In parallelo, può impostare la modalità di trasmissione del modulatore DVB-S2 attraverso la porta di ingresso "ACM command" (col comando ACM).

2. Il codificatore di sorgente a bit-rate variabile (VBR, *Variable Bit Rate*) estrae un flusso TS a bit-rate costante, dove le variazione del bit-rate utile sono compensati dall'inserzione di pacchetti MPEG nulli (*Null Packets*). Il blocco "Adattatore di Modo" (si veda figura 3) cancella i pacchetti nulli, cosicché l'attuale bit-rate sul canale corrisponde al bit-rate della sorgente[7].

3. Il ricevitore reinserisce i pacchetti nulli esattamente nella posizione originale, ed il segnale di temporizzazione (CLOCK) del TS è rigenerato usando l'informazione di segnalazione trasmessa dal DVB-S2 [7].

A proposito del punto 1, si deve notare che, se il ritardo nell'adattamento della velocità nel decodificatore video è maggiore del ritardo dell'adattamento di velocità nel modulatore ACM, è necessario predisporre tra questi elementi una memoria (*buffer*) convenientemente dimensionata, per evitare perdite di dati (*underflow/overflow*).

Nel seguito sono illustrati diversi esempi di utilizzo del DVB-S2 per applicazioni di contribuzione e DSNG, e confrontati con i sistemi di prima generazione DVB-S e DVB-DSNG.

Come primo esempio si consideri un servizio di contribuzione TV utilizzante grandi stazioni trasmittenti e riceventi per accedere ad un transponder da 36 MHz con 4 segnali in multiplazione di frequenza FDMA (*Frequency Division Multiple Acces*). Con il modo 16QAM 3/4 dello standard DVB-DSNG si possono allocare nella banda del transponder 4 segnali di contributo TV a 18.5 Mbit/s garantendo la disponibilità del servizio al 99.9% dell'anno medio con i seguenti parametri di collegamento: potenza EIRP della stazione di terra 76 dBW, IBO (*Input Back Off*) totale del satellite 14.3 dB, antenne in trasmissione e ricezione da 7 m di diametro. Mediante la configurazione DVB-S2 16 APSK 5/6 e roll-off 0.2, la velocità di informazione di ognuno dei segnali può essere aumentata fino a 24.75 Mbit/s, confermando perciò un guadagno in termini di capacità del DVB-S2 rispetto al DVB-DSNG maggiore del 30%. In alternativa, volendo mantenere la velocità di trasmissione pari a quella della configurazione DVB-DSNG, il guadagno del DVB-S2 può essere utilizzato per ridurre la dimensione delle antenne in trasmissione e ricezione a 4.5 m, con il modo 8PSK 5/6, 74 dBW di EIRP in trasmissione e 13 dB di IBO totale. Mantenendo le stesse antenne, e applicando la funzionalità ACM del DVB-S2, si può poi nuovamente portare la velocità di trasmissione a 24.75 Mbit/s in condizioni di cielo chiaro.

I vantaggi del DVB-S2 e dell'ACM sono anche evidenti per i servizi di tipo DSNG. Per esempio, in una porzione di banda satellitare di 9 MHz, un veicolo attrezzato per DSNG con un'antenna da 1.2 di diametro (e 61 dBW di potenza EIRP) può trasmettere 19.8 Mbit/s a cielo chiaro (16APSK 2/3, e roll-off 0.2) e commutare a 14.85 Mbit/s in presenza di forti attenuazioni da pioggia (8PSK 2/3). Come paragone si consideri che il DVB-DSNG con QPSK 7/8 permetterebbe di trasmettere solamente 10.7 Mbit/s.

Come ultimo esempio, si consideri una stazione DSNG portatile (*fly-away*), con un'antenna da 90 cm e 12 W di potenza HPA. Il DVB-S2 con l'ACM permette di trasmettere 9.9 Mbit/s a cielo chiaro (QPSK 2/3 e roll-off 0.2), 8.9 Mbit/s (QPSK 3/5) in condizione di propagazione tipiche e 3.68 Mbit/s (QPSK1/4) in condizioni critiche di collegamento (per il 99.9 % dell'anno medio, potenza in salita EIRP 49 dBW, 12 dB di IBO totale, antenna ricevente da 4m, quattro segnali per transponder). Ciò garantisce di avere una buona qualità dell'immagine usando la codifica MPEG-2 ed una qualità eccellente con i nuovi codificatori AVC. Con il DVB-S (in modalità QPSK1/2) sarebbe necessaria una stazione trasmittente con 5 dB in più di potenza, e la velocità d'informazione sarebbe costante a 6,1 Mbit/s.

4.6 Servizi Unicast IP

I collegamenti IP Unicast con la modalità ACM sono impostabili in modo analogo al caso DSNG appena illustrato, con la differenza che la configurazione di protezione dagli errori deve essere scelta per ognuno degli utenti del servizio, tenendo conto che il numero di utenti può essere molto ampio (ad es. centinaia di migliaia).

La figura 12 (derivata dalla figura 10), mostra un possibile scambio di informazioni (richiesta e risposta) tra l'utente, il modulo di adattamento Satellitare e uno dei Fornitori (Providers) di Informazione durante una sessione di navigazione in Internet via satellite (collegamento diretto verso l'utente ad elevata capacità) [7].

I servizi dati interattivi possono trarre vantaggio dall'uso del DVB-S2 grazie alla possibilità di avere una protezione dagli errori non uniforme mediante l'ACM e livelli di servizio differenziati, come priorità nelle code di consegna, bit-rate minimo garantito, …

A seconda delle regole di negoziazione tra il terminale da Satellite e il gestore dell'instradamento (*routing manager*) ACM, il router ACM può in linea di principio separare i pacchetti IP per utente, in funzione della protezione richiesta dagli errori e del livello del servizio richiesto.

Il traffico complessivo di ingresso su vari livelli di protezione non dovrà però sovraccaricare il canale: ciò vale per il traffico medio in ingresso, mentre il picco del traffico potrà occasionalmente oltrepassare la capacità, compatibilmente con le dimensioni del buffer di ingresso e dei livelli massimi di ritardo richiesti dal servizio. Sono state implementate varie strategie per superare questa limitazione, quando il traffico totale offerto diventa maggiore della capacità del canale: per esempio i pacchetti IP a più bassa priorità di livello di protezione dagli errori possono essere differiti (o anche cancellati) in favore di pacchetti a più alta priorità, oppure il bit-rate fornito agli utenti può essere ridotto in condizioni di cattiva ricezione.

Fig. 12 - Esempi di servizi IP che utilizzano un collegamento DVB-S2 ACM

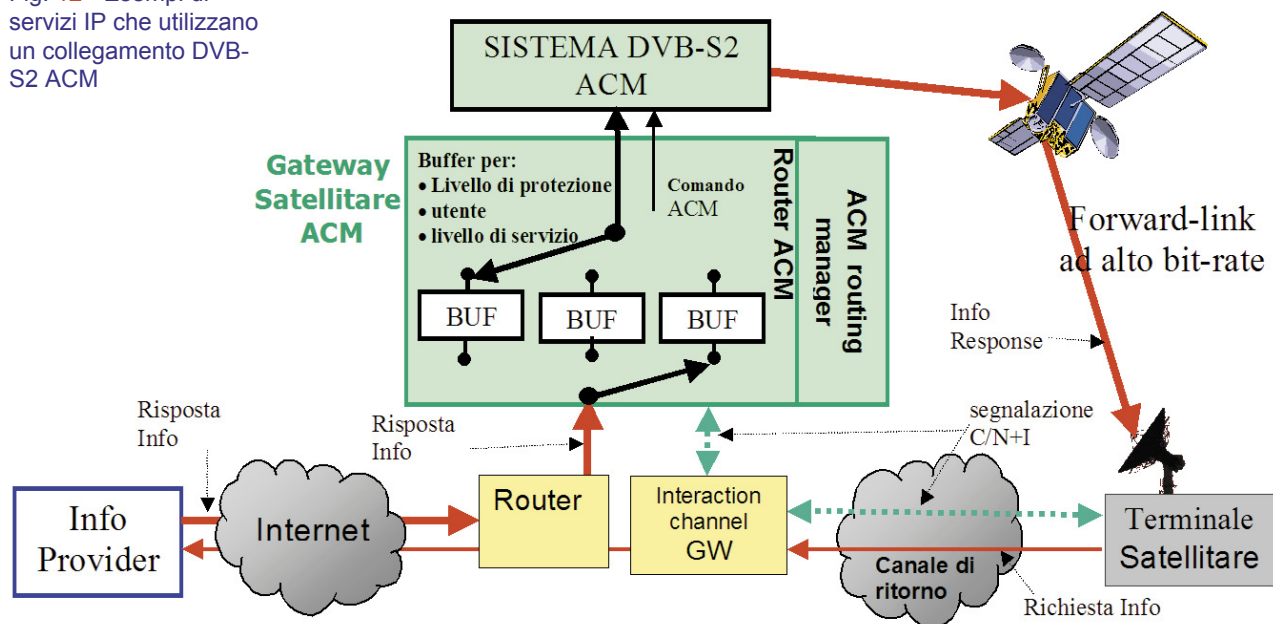
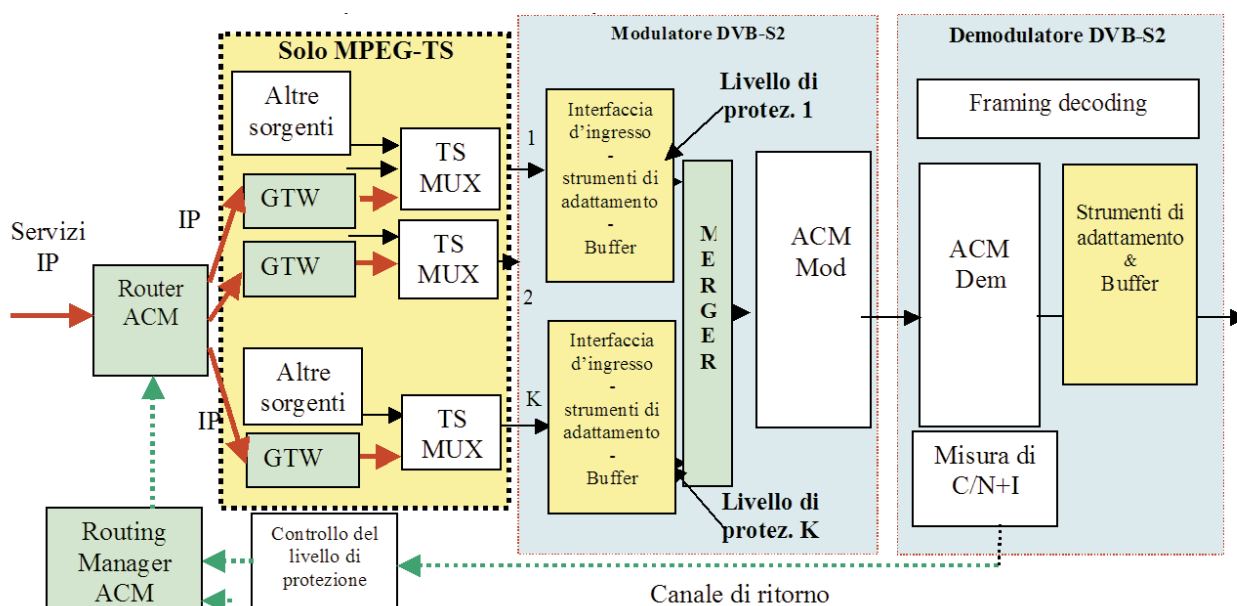



Fig. 13 – IP Unicast e ACM: Flussi di Ingresso Multipli – protezione uniforme per flusso (per flussi d'ingresso di tipo generico GS non sono richiesti GTW e multiplatori di TS).

Se i ritardi dell'anello di controllo (compresi il routing manager ed il router ACM) sono troppo grandi per consentire una ricezione priva di errori, in presenza di un peggioramento delle condizioni atmosferiche del canale, i servizi real-time (in tempo reale) (come ad esempio lo streaming di segnali audio/video) possono essere permanentemente collocati in un ramo molto protetto mentre i servizi a priorità più bassa (come per esempio i servizi "*best effort*"), possono sfruttare i rami a efficienza maggiore (e quindi a costi più bassi) forniti dall'ACM.

Nel router ACM, la strategia di "*polling*" dei buffer di ingresso, può essere caratterizzata statisticamente o dinamicamente in accordo con le statistiche di traffico, le caratteristiche di propagazione e la politica di identificazione delle priorità di traffico dell'operatore di servizio.

Il router ACM si può interfacciare con il modulatore DVB-S2 [2]:

- attraverso un ingresso per un singolo flusso generico GS e un ingresso di comando ACM. In questo caso il router ACM è indipendente dal modulatore DVB-S2 , e può implementare qualsiasi politica di instradamento. Il modulatore DVB-S2 trasmette immediatamente i dati utente in accordo con il comando ACM, quindi i ritardi di ciclo possono essere minimizzati.
- attraverso ingressi di flusso multiplo (di tipo Transport o Generic), uno per ogni livello di protezione attiva (l'interfaccia del comando l'ACM non deve essere attiva). In questo caso il blocco Merger/Slicer del modulatore DVB-S2 copre parzialmente la funzionalità del router ACM.

Quest'ultimo caso è rappresentato più in dettaglio in figura 13. Il router ACM divide i pacchetti utente per livello di servizio (priorità) e per livello di protezione richiesta e li invia alle interfacce di

ingresso multiple del modulatore DVB-S2, essendo ciascun flusso associato ad un dato livello di protezione. Quindi, ciascun flusso di ingresso trasporta il traffico di tutti gli utenti che hanno bisogno di un livello di protezione specifico ed il suo bit-rate utile può (lentamente) cambiare in relazione alle caratteristiche del traffico.

Il Merger in figura 13 interroga ciclicamente i buffer di ingresso e convoglia al modulatore ACM un blocco di dati utente pronto per riempire (almeno parzialmente) un frame.

Per evitare lunghi ritardi in ogni buffer Merger/Slicer si può definire un tempo massimo (time-out) di stazionamento dei dati. Durante i picchi di traffico che sovraccaricano il canale fisico, una strategia semplice di tipo "*round-robin*" può non essere sufficiente per soddisfare l'esigenza di distribuire adeguatamente la capacità disponibile tra gli utenti. Quindi si devono adottare strategie alternative per caratterizzare questo tipo di priorità.

Il blocco tratteggiato in figura 13 si riferisce al caso specifico di servizi IP incapsulati nel flusso di Trasporto TS (Multi-Protocol Encapsulation, MPE) in accordo con la norma EN 301 192. In questo caso, K Gateway MPE GTW sono associati a K multiplatori di TS, per alimentare K flussi di ingresso DVB-S2 (uno per livello di protezione attivato).

4.7 Modi compatibili con i sistemi di prima generazione

I modi del DVB-S2 compatibili con i sistemi satellitari di prima generazione possono essere impiegati per aumentare i servizi forniti da un transponder da satellite, senza interferire coi ricevitori DVB-S [8]. Con riferimento ai modi gerarchici del DVB-S2 descritti nella figura 4, di seguito sono analizzate le prestazioni del TS ad Alta Priorità (compatibili anche col sistema dei ricevitori DVB-S) e di quello a Bassa Priorità (ricevibile soltanto dai nuovi ricevitori DVB-S2).

Nella figura 14, è rappresentato il rapporto segnale rumore C/N richiesto dai flussi HP (compatibile) ed LP (non-compatibile) per raggiungere l'obiettivo QEF (Quasi Error Free)[Nota 14] in funzione dell'angolo θ che caratterizza la costellazione 8PSK non uniforme. Con l'incremento dell'angolo θ, il rapporto C/N del flusso HP aumenta, mentre il C/N del flusso LP (Bassa Priorità) diminuisce. E' anche indicata la capacità in bits/Hz per tutte le configurazioni dei flussi HP e LP previste dallo standard.

Il primo scenario applicativo analizzato rappresenta il caso in cui si voglia garantire la stessa disponibilità di servizio (per esempio rispetto all'attenuazione da pioggia) per i due livelli di priorità, come può accadere nel caso in cui sia l'HP che l'LP trasportino applicazioni video. La figura 15 illustra, in aggiunta alla curva del solo sistema DVB-S, la capacità complessiva del sistema DVB-S2 gerarchica (HP+LP) per larghezza di banda unitaria, in funzione del rapporto C/N disponibile[Nota 15]. Si può notare come si possa ottenere capacità addizionale attraverso le modulazioni gerarchiche soltanto per rapporti C/N superiori a 7 dB, mentre per rapporti C/N inferiori è preferibile l'uso del solo DVB-S (sia in termini di capacità, sia in termini di totale compatibilità). In partico-

Nota 14 Per essere coerenti con la norma EN 300 421 [1] i dati del rapporto C/N per l'HP e l'LP corrispondono al livello QEF obiettivo del DVB-S (più rigoroso del QEF obiettivo del DVB-S2 [2]). E' incluso anche un margine di implementazione di 0.8 dB in entrambi i rami.

Nota 15 - La figura 15 deriva dalla figura 13, prendendo l'intersezione delle curve HP e LP (con angoli θ corrispondenti al C/N bilanciato). Su ogni curva sono tracciati i cinque possibili rapporti di codifica del DVB-S, da destra a sinistra partendo da 7/8 a 5/6, 3/4 , 2/3 e 1/2; la sequenza si interrompe sulla parte sinistra, quando l'angolo θ supera i 18°.

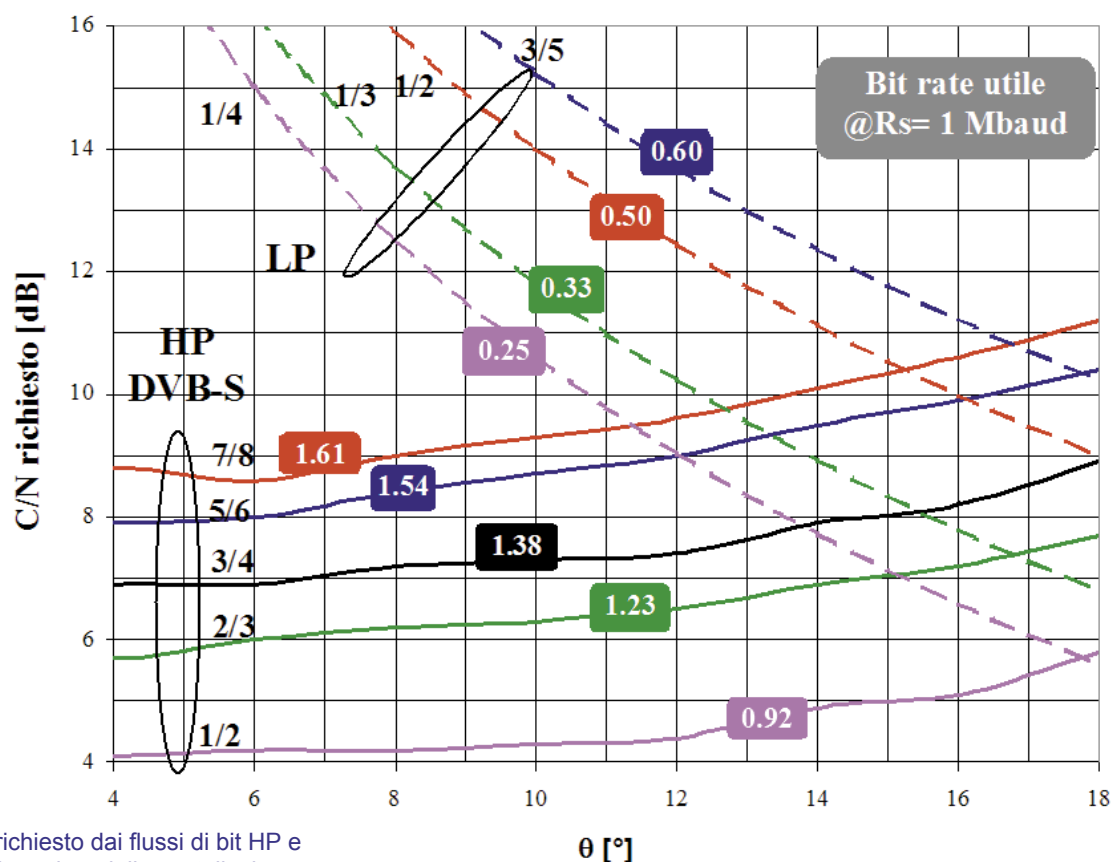



Fig. 14 - C/N richiesto dai flussi di bit HP e LP rispetto all'angolo θ della costellazione non uniforme 8PSK, sul canale AWGN per i modi previsto dallo standard

lare, le modulazioni gerarchiche si rivelano utili quando il rapporto C/N disponibile è maggiore di quello richiesto dal DVB-S con rapporto di codifica 7/8.

Per esempio, se il link budget assicura un C/N di 10.8 dB per la disponibilità obiettivo (per esempio 99,9 % dell'anno medio), per una velocità di simbolo uguale a 27.5 MHz l'impiego del DVB-S con rapporto di codifica 7/8 offrirebbe soltanto 44 Mbit/s, mentre introducendo una modulazione gerarchica (LP con rapporto di codifica 3/5) si disporrebbe di un incremento di capacità trasmissiva di 16 Mbit/s per gli utenti del DVB-S2, allo stesso tempo garantendo una disponibilità di servizio del 99,9 % dell'anno medio per tutti gli utenti.

Se si riduce al 99 % dell'anno medio la disponibilità obiettivo per il flusso a Bassa Priorità (questo potrebbe rappresentare la situazione in cui il flusso LP non contiene programmi TV, ma servizi dati addizionali), il ramo a Bassa Priorità beneficerebbe di un incremento del rapporto C/N da 2 a 4 dB – a seconda delle zone climatiche - che potrebbe essere impiegato per incrementare i rapporti di codifica del codice e la capacità trasmissiva. Facendo riferimento alla figura 14 e assumendo un C/N disponibile di 7dB per HP al 99,9 % dell'anno medio e di 10,5 dB per LP al 99 % dell'anno medio, si potrebbe pensare di impiegare un rapporto di codifica 2/3 per l'HP ed 1/2 per l'LP (con l'angolo θ a 15°). Per una velocità di simbolo di 27.5

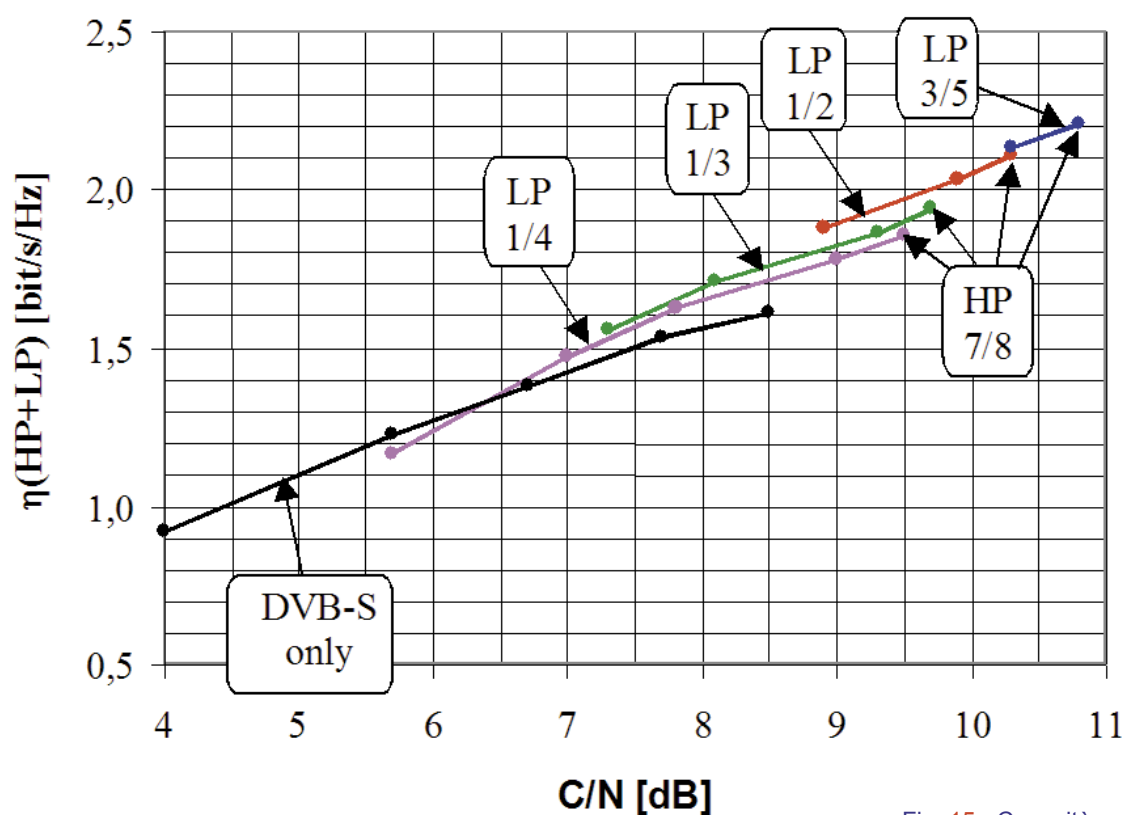



Fig. 15 - Capacità normalizzata dei dati d'utente in funzione del rapporto C/N (prestazioni HP e LP bilanciate)

MBaud, la capacità addizionale sull'HP sarebbe di circa 13.8 Mbit/s (da paragonarsi con la capacità addizionale di 4.1 Mbit/s ottenibile usando il DVB-S da solo ad una velocità di codice di 3/4 invece di 2/3 con disponibilità del servizio del 99,9%).

5. Conclusioni

Il consorzio DVB non prevede una sostituzione a breve termine del DVB-S con il DVB-S2: nel mondo operano milioni di decodificatori DVB-S, contribuendo al successo del business digitale. Bisogna però tenere conto che stanno per essere lanciate nel mercato consumer della TV satellitare nuove applicazioni come la TV ad alta definizione ed i nuovi servizi basati su protocollo IP.

Due esempi possono mettere in risalto la rivoluzione che sta di fronte a noi. Combinando il DVB-S2 e i nuovi schemi di codifica audio e video che verranno introdotti a breve come specifiche DVB, si potranno trasmettere su un transponder convenzionale a 36 MHZ da 20 a 25 programmi in SDTV o 5 o 6 programmi HDTV.

Nel settore delle connessioni veloci ad Internet via satellite, combinando la tecnologia ACM con il DVB-S2, i satelliti multi-spot in banda Ka ed il sistema per canale di ritorno satellitare DVB-RCS [12], gli attuali costi della capacità satellitare possono essere ridotti di un fattore 10.

Questo può riaprire la competizione con le infrastrutture terrestri, come le linee ADSL e i modem via cavo, almeno per quanto riguarda le aree rurali.

In questi settori di applicazione il DVB-S2 realizzerà ciò che il DVB-S non avrebbe mai potuto fare.

Ringraziamenti

Si ringrazia Gemma Bonino per la collaborazione linguistica per traduzioni e stesura dell'articolo.

Bibliografia

1. ETSI: EN 300 421 V1.1.2 (1997-08) “Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services”
2. ETSI: Draft EN 302 307 “Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)”
3. R. Gallager: “Low Density Parity Check Codes”, IRE Trans. on Info. Theory, January 1962
4. M. Eroz, F.-W. Sun and L.-N. Lee, “DVB-S2 Low Density Parity Check Codes with near Shannon Limit Performance” proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
5. E. Casini, R. De Gaudenzi, A. Ginesi, “DVB-S2 modem algorithms design and performance over typical satellite channels”, proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
6. F.-W. Sun Y. Jiang and L.-N. Lee, “Frame synchronization and pilot structure for DVB-S2” proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
7. R. Rinaldo, M. Vazquez-Castro, A. Morello, “DVB-S2 ACM modes for IP and MPEG unicast applications” proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
8. E. Chen, J. L. Koslov, V. Mignone, J. Santoru, “DVB-S2 Backward-compatible modes: a Bridge Between the Present and the Future” proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
9 R. Rinaldo, R. De Gaudenzi, “Adaptive Coding and Modulation for the Forward Link of Broadband Multimedia Systems”, proposto per la pubblicazione su International Journal of Satellite Communications Networks
10. ETSI: EN 301 210: “DVB: Framing structure, channel coding and modulation for DSNG and other contribution applications by satellite”
11. A. Morello, V. Mignone, “The new DVB standard for digital satellite News Gathering and other contribution applications by satellite”, EBU Technical Review – Autumn 1998
12. U. Reimers (ed.), “Digital Video Broadcasting - The DVB Family of Standards for Digital Television”, 2nd ed., 2004, Springer Publishers, New York, ISBN 3-540-43545-X

Gli Standard DVB:
dalla TV generalista ai servizi multimediali interattivi

ing. Gianfranco **Barbieri**

partecipa alle attività del consorzio DVB fin dalla sua costituzione,
docente presso il Politecnico di Torino di "Sistemi di radiodiffusione radiofonica e televisiva".

Sommario
Una decina di anni fa nasceva il consorzio DVB. Inizialmente esso era costituito da un piccolo gruppo di partners europei (rappresentanti di radiodiffusori, industria consumer, gestori di reti e ammistrazioni), si era autonominato European Launching Group e si era posto l'obiettivo di elaborare uno standard europeo per la televisione digitale terrestre. In poco tempo divenne un Forum internazionale (alla firma del Memorandum of Understanding nel settembre 1993 avevano aderito già 83 membri provenienti da tutto il mondo) che, operando sulla base del consenso, andò ben oltre i suoi compiti iniziali pervenendo rapidamente a definire le specifiche dei sistemi oggi adottati a livello quasi mondiale per la diffusione della TV digitale su satellite, reti terrestri ed in cavo.
Oggi il DVB conta quasi 300 membri, ha elaborato una settantina di standard ed è impegnato nell'ardua sfida della convergenza delle tecnologie, promovendo nuovi standard multimediali per l'interattività, la IPTV e la mobilità.

1. Introduzione

Il decennio appena trascorso ha segnato una tappa fondamentale nell'evoluzione del sistema radiotelevisivo: l'avvento della televisione digitale. A questa rivoluzione epocale hanno contribuito vari fattori (tecnologici, commerciali, politici) ed i risultati conseguiti sono stati ottenuti a fronte di notevoli risorse messe a disposizione su vasta scala da attori provenienti dai comparti industriali più variegati. La chiave del successo è consistita nel gigantesco sforzo di collaborazione messo in atto nell'ambito dell'attività di alcuni gruppi di lavoro operanti su base internazionale: tra questi, un ruolo determinante è stato interpretato dal Consorzio DVB (*Digital Video Broadcasting*).

E' interessante risalire alla prima metà degli anni '90 quando, a livello europeo, un piccolo gruppo di costruttori, di radiodiffusori pubblici e di rappresentanti di alcune Amministrazioni si incontrarono nell'aeroporto di Francoforte e diedero vita allo *European Launching Group* (primo nucleo di quello che sarebbe diventato il Consorzio mondiale che conta oggi più di 300 membri tra cui i più importanti colossi dell'informatica e dell'industria delle telecomunicazioni). Il progetto elaborato dal gruppo fu così convincente da indurre la Commissione Europea ad abbandonare la politica industriale di sostegno agli Standard analogici per il miglioramento della qualità promossa fino ad allora.

In pochi anni il progetto bruciò le tappe e raccogliendo un consenso via via crescente tra gli operatori della società dell'informazione pervenne a sviluppare gli Standard per la TV digitale via cavo, satellitare e terrestre. Il successo conseguito pose il Consorzio DVB di fronte all'interesse mondiale e contribuì a spostare verso l'Europa il polo d'attrazione per lo sviluppo dei nuovi sistemi e servizi della multimedialità. La seconda fase di attività si focalizzò sulla TV interattiva e portò all'elaborazione della *Multimedia Home Platform*, il cui standard è oggi adottato, in pratica, su base mondiale.

Basandosi sulla capacità di interpretare pragmaticamente le esigenze industriali del variegato mondo degli operatori della comunicazione il Consorzio ha ora avviato la terza fase dei suoi lavori concentrandosi sulle complesse problematiche legate alla convergenza delle tecnologie (utilizzo del protocollo IP per veicolare i servizi di TV digitale, il Datacast, i servizi della mobilità). La sfida tecnologica è già di per sé grande ma le difficoltà derivanti dall'esigenza di conciliare interessi industriali eterogenei e talvolta divergenti sono grandissime e sull'abilità di risolvere le materie più controverse si giocherà il futuro del DVB.

2. La storia del consorzio DVB. I primi 10 anni di attività

All'inizio degli anni '90. notevoli investimenti erano in corso in Europa e Giappone nella direzione della EDTV (*Enhanced Definition TV*) con l'obbiettivo di perseguire un modello di sviluppo che privilegiava il miglioramento qualitativo dell'immagine. Il Giappone, inoltre, da circa un ventennio stava impegnando enormi risorse nello sviluppo della TV ad alta definizione; le varie sperimentazioni indicavano infatti essre questo lo strumento ideale per offrire all'utente una fruizione dei programmi totalmente innovativa grazie al migliore "effetto presenza" sulla scena, reso possibile dalla visione su grande schermo, dal formato panoramico dell'immagine e dall'audio stereofonico con "surround". Gli Stati Uniti, dal canto loro, avevano intravisto nel lancio dell'HDTV una favorevole occasione per rivitalizzare l'industria nazionale dell'elettronica di consumo mentre l'Europa, rimasta pressoché assente dal comparto dell'informatica, non intendeva lasciarsi sfuggire di mano anche quello della televisione (tanto più che si approssimava la scadenza dei brevetti sui sistemi di TV a colori PAL e SECAM). L'adozione di soluzioni *full digital* per la trasmissione all'utente, richiedendo elaborazioni dei segnali alquanto complessi all'interno dei terminali d'utente, non veniva ritenuta a quei tempi ancora tecnologicamente matura.

La svolta radicale si ebbe nel 1990 quando un consorzio formato da RAI, Telettra, RTVE (l'allora Ente Pubblico radiotelevisivo spagnolo) e Politecnico di Madrid nell'ambito del progetto europeo EUREKA 256 dimostrò la fattibilità di un sistema di trasmissione interamente digitale di TV ad alta definizione. Il sistema di codifica era basato sull'algoritmo DCT (*Discrete Cosine Transform*), che avrebbero dato vita tre anni più tardi al mitico standard MPEG-2. Esso permetteva di trasmettere i segnali HDTV sulla stessa banda satellitare richiesta dai sistemi analogici allora in ballottaggio (MUSE e HDMAC), ma offrendo una qualità video di gran lunga superiore, ed una sostanziale insensibilità ai disturbi introdotti dal canale di diffusione. A parità di qualità dell'immagine, permetteva di ridurre circa di un fattore 10 la potenza

trasmessa dal satellite, mandando di fatto in pensione sul nascere i grandi e costosi satelliti nazionali per la radiodiffusione.

L'occasione per celebrare l'evento attraverso un grande scoop mediatico fu offerta dai campionati mondiali di calcio che si tennero quell'anno in Italia (Italia'90). Inizialmente, l'evento della trasmissione HDTV ad "Italia'90" sembrò ignorato dalla comunità dei radiodiffusori e dell'industria elettronica di consumo europea (a protezione degli investimenti profusi sui sistemi MAC e HD-MAC), ed il sistema sviluppato del progetto EU-256 divenne al momento uno standard ITU ed ETSI per i collegamenti professionali di TV e HDTV digitale; tuttavia, in breve tempo la TV digitale per l'utente domestico divenne una realtà. Il passo successivo fu compiuto con la standardizzazione del sistema di codifica video ISO/MPEG-2. Questo sistema, orientato al mercato di massa, permetteva ulteriori riduzioni della banda trasmissiva (circa 5 Mbit/s per programma TV a definizione convenzionale e circa 19 Mbit/s per programma HDTV) e concentrava la complessità sul lato trasmittente per ridurre i costi dei ricevitori. Quando i chip per la ricezione MPEG-2 furono pronti, fu l'operatore americano DirecTV a lanciare un servizio commerciale di televisione digitale via satellite, abbandonando l'idea dell'alta definizione.

L'Europa reagì rapidamente e verso la fine del 1991 alcuni radiodiffusori, aziende industriali e organismi di normativa si riunirono per dare vita ad un gruppo di lavoro cui venne affidata il mandato di supervisionare lo sviluppo di un sistema di televisione digitale in Europa. Il gruppo, denominato inizialmente *European Launching Group*, si estese rapidamente ad altre categorie di soggetti includendo

Tab. 1 - Tappe più significative della storia del DVB.

1991	European Launching Group formed
September 1993	DVB founded with 80 members
November 1993	MPEG-2 (ISO/IEC 13818-2) approved by ISO
December 1993	DVB-S approved (EN 300 421)
1994	DVB registers DVB logo
March 1994	DVB-C approved (EN 300 429)
May 1994	DVB Common Scrambling Algorithm approved
September 1994	DVB approves Conditional Access Package
September 1994	DVB membership reaches 147
November 1994	ITU recommends DVB-S for digital satellite television.
March 1995	DVB-CI specification (Common Interface Specification for Conditional Access and other Digital Video Broadcasting Decoder Applications) (EN 50221)
March 1995	DVB forms Interactive Services Commercial Module to work on interactive services for the first time
December 1995	DVB-T approved (EN 300 744)
April 1996	First DVB-T trial transmissions on air in UK
April 1996	First demonstration of DVB-S interoperability
1996	Theo Peek (Philips) becomes DVB Chairman
1996	DVB-S (Specification for delivery of DVB services via digital satellite)
1996	DVB-C (Specification for framing structure, channel coding and modulation for digital cable systems)
1996	DVB's Memorandum of Understanding revised and restated to include Interactivity
April 1997	DVB membership grows to 207
April 1997	DVB agrees to incorporate HDTV elements in its specifications
April 1997	DVB approves SimulCrypt specification (TS 101 197-1)

continua ...

April 1997	DVB approves data broadcasting specification (EN 301 192)
June 1997	Joint demonstration of terrestrial HDTV from ATSC and DVB (Montreux ITVS '97)
July 1997	DVB approves implementation guidelines for HDTV services
1997	Canal+ launch first DVB-C digital cable services in US
December 1997	DVB demonstrates terrestrial HDTV in Australia
December 1997	DVB approves MHP functional requirements
May 1998	Internet of air demonstrations using DVB-S in Africa
June 1998	DVB-T trials in Singapore
18 June 1998	Australia adopts DVB-T
15 November 1998	UK launches worlds first digital terrestrial television service with DVB-T
1 April 1999	Swedish digital terrestrial television launched
13 April 1999	DVB opens cooperation with China for development of digital terrestrial television
19 April 1999	DVB demonstrate mobile digital terrestrial television at NAB
25 May 1999	Singapore adopt DVB for digital terrestrial broadcasting
19 July 1999	India adopts DVB-T
September 1999	DVB demonstrates mobile TV on No. 4 trams in Amsterdam
9 November 1999	DVB Steering Board announce agreement on principles of MHP
14 February 2000	Field trials in Brasil confirm superiority of COFDM
March 2000	DVB launches MHP logo
10 April 2000	Worlds First with demonstration of simultaneous reception of mobile SDTV and fixed HDTV using its Hierarchical Modulation technology in US at NAB
May 2000	Argentina reconsiders 1998 adoption of ATSC
May 2000	Spanish digital terrestrial television launched
May 2000	DVB approves MHP (ES 201 812)

continua ...

i maggiori operatori europei, sia pubblici che privati, attivi nel comparto dei media, sviluppatori di software e gestori di reti di telecomunicazioni. Venne stilato un *Memorandum of Understanding* (MoU) in cui erano codificate le regole con cui questa sfidante partita avrebbe dovuto essere giocata. Aderire al MoU significava, per i soggetti interessati, accettare di mettere in disparte le strategie competitive individuali per iniziare un percorso, basato sulla fiducia reciproca, verso il soddisfacimento di comuni interessi e piani di sviluppo. Il MoU fu sottoscritto nel Settembre 1993 da tutti i partecipanti al *Launching Group* che venne, nell'occasione, ribattezzato *Digital Video Broadcasting Project* (DVB) e da quel momento l'attività europea nel settore della TV digitale subì una netta accelerazione.

Il primo lavoro consistette nella preparazione di uno studio sulle prospettive di mercato della TV digitale e venne acquisito un nuovo ed importante concetto: l'apertura del sistema ad una molteplicità di mercati consumer, spaziando dalla HDTV alla ricezione portatile. Nello stesso tempo, una significativa svolta cominciava a manifestarsi nel campo della diffusione televisiva satellitare ove si stava prendendo consapevolezza che il non ancora consolidato sistema MAC avrebbe presto ceduto il passo alle nuove tecnologie interamente digitali. Il consorzio DVB si fece carico di realizzare un forum che riunisse in un unico gruppo di interesse le realtà europee operanti in tutti i comparti della diffusione televisiva e multimediale e diede vita allo sviluppo di un sistema completo di TV digitale basato su un approccio unificato.

Apparve subito chiaro che, rispetto alla diffusione terrestre, satellite e cavo sarebbero stati i primi media ad erogare servizi di TV digitale grazie ai meno gravosi problemi tecnologici ed al più agevole quadro regolamentatorio.

Sul finire del 1997 si raggiunsero gli obiettivi inizialmente programmati ed il consorzio DVB poté concentrarsi sulla promozione dei suoi standards che vennero adottati su scala pressoché mondiale rendendo la TV digitale una realtà. Il consolidamento degli standards base consentì di estendere il mandato del Progetto verso le applicazioni multimediali ed interattive incorporando le attività del *Multimedia Home Platform* (MHP) *Launching Group*. Come risultato si ebbe nel giugno 2000 la prima release della specifica MHP.Il vantaggio di quest'ultimo protocollo è quello di essere universale ed allo stesso tempo trasparente ai vari standard della TV digitale gestendo così in modo compatibile i media di tutto il mondo.

3. Il DVB nella galassia della convergenza multimediale

A partire da maggio 2001 si apre una nuova fase, denominata DVB 2.0, che porta il Progetto ad adottare una visione strategica in cui gli stardard per la TV digitale vengono fatti evolvere privilegiando le esigenze di interoperabilità tra l'ambiente broadcast e quello, dinamico ed aperto ai nuovi servizi, di Internet e delle reti mobili. In parallelo allo sviluppo della TV digitale stiamo infatti assistendo al dilagare a tutto campo di Internet e di tutte le innovazioni tecnologiche ad essa legate: di particolare rilevanza l'impatto della larga banda e della tecnologia IP. Di pari passo, si sta verificando una vera rivoluzione nel campo delle comunicazioni mobili il cui mercato sta infatti raggiungendo pressoché tutte le gamme di età e condizione sociale. Obbiettivo del DVB diviene pertanto quello di elaborare una serie di strumenti che consentano alle potenzialità dei tre mondi-Radiodiffusione, IP e Mobile-di convergere

8 September 2000	Multimedia Home Platform (MHP) for interactivity launched at IBC
1 December 2000	Information Technology and Broadcasting Bureau (ITBB) of the Hong Kong Special Administrative Region Government recommends DVB-T
December 2000	DVB begins to discuss work on hand held devices planting seed for DVB-H
December 2000	Demonstrations of DVB-T hierarchical modulation in Brasilia, Brazil
December 2000	DVB SB approves new vision embracing internet and mobile technology, paving the way for DVB 2.0
1 January 2001	Australia launches digital services with DVB-T
31 January 2001	Russian cities of Moscow, Nizhy Novgorod and St. Petersburg launch trial DVB-T services
6 February 2001	DVB launches MHP WWW site
14 February 2001	DVB-RCS, return channel specification for satellite adopted
March 2001	UK government launched digital terrestrial awareness programme based on DVB logo
June 2001	MHP conformance and licensing arrangements approved by DVB Steering Board
8 June 2001	DVB wins prestigious Multichannel News International Ground Breaker Award for Technology in America
July 2001	Taiwan chooses DVB-T, reversing decision in 1997 for ATSC
3 September 2001	DVB launched patent pool co-ordination process for MHP
10 October 2001	US CableLabs adopts MHP
7 November 2001	Australia adopt MHP
November 2001	Finland launches DVB-T with MHP
May 2002	QuieroTV fails in Spain
3 July 2002	MHP Test Suite Approved
13 September 2002	MHP Test Suites begin to ship
7 April 2003	DVB-GEM (Globally Executable MHP) announced as a specification
4 August 2003	Berlin completes switch over from analogue to digital terrestrial transmission

...fine.

ed interagire: il mercato ne dovrebbe così trarre benefici nuovi e maggiori di quanto se ne avrebbero qualora i tre comparti continuassero ad operare in isolamento. In un contesto in cui: la larga banda sta gradualmente diventando accessibile ad un crescente numero di utenze domestiche nei paesi industrializzati, gli algoritmi di compressione dei segnali audio e video consentono di erogare sulle reti IP una qualità paragonabile a quella di MPEG-2 ma con una occupazione di banda alquanto inferiore, le reti radiomobili acquisiscono la potenzialità di fornire tipologie di servizi che vanno al di là della sola voce e testo, possiamo facilmente immaginare un ambiente domestico in cui attraverso il televisore saremo in grado di fruire di una molteplicità di servizi da ogni parte del mondo A ciò si aggiunga la flessibilità di poter scegliere tra una vasta gamma di dispositivi riceventi per visualizzare tale molteplicità di servizi in casa o in mobilità. Il tutto interagendo con i le sorgenti dei programmi.

4. Il contributo del centro Ricerche RAI ai lavori del DVB

Il Centro Ricerche è stato presente nel consorzio fin dalla sua costituzione e figura tra i primi firmatari del Memorandum of Understanding. I suoi ingegneri sono stati tra i promotori dello standard di prima e seconda generazione per la TV digitale via satellite ed hanno presieduto il gruppo di specialisti che, in sei mesi, dal Giugno al Dicembre 1993, definì lo Standard mondiale DVB-S. Queste attività di frontiera sulla TV digitale hanno fruttato due importanti riconoscimenti per i ricercatori del Centro: la medaglia d'oro del Simposio di Montreux nel 1991 e, tre anni dopo, nel 1994, il "John Tucker Award"della Conferenza IBC di Amsterdam.

Anche sul fronte della TV digitale terrestre il Centro si è trovato impegnato in prima fila contribuendo attivamente all'ottimizzazione del sistema e conducendola campagne di testche hanno portato allo standard.tecnico ed alle scelte finali. E' dal trasmettitore di Torino Eremo che nel 1998 viene irradiato il primo segnale DTT in Italia.

Sfruttando le competenze acquisite nella elaborazione degli standard il Centro ha svolto nel corso degli anni una estensiva sperimentazione di laboratorio ed in area di servizio per affrontare la vastissima problematica che si presenta all'avvio dei servizi di TV digitale: problemi legati alla propagazione, alla pianificazione delle reti di diffusione, alla distribuzione negli impianti centralizzati. In tale contesto l'azione a supporto dell'industria si è rivelata, come in passato, di fondamentale importanza.

5. Struttura organizzativa

Il Progetto DVB è articolato in quattro Moduli coordinati dall'Assemblea generale e dal suo Steering Board (figura 1).

5.1 Assemblea Generale

L'Assemblea Generale costituisce l'organo supremo del Progetto in cui sono rappresentati tutti i Membri che sottoscrivono il MoU [1]; essa si riunisce una volta all'anno per ratificare le decisioni prese a livello dei gruppi operativi.

5.2 Steering Board

Lo *Steering Board* è l'organo operativo dell'Assemblea Generale cui spetta il compito di eleggerne i membri. Esso si riunisce circa ogni due mesi, decide la politica globale del Progetto, stabilisce le priorità e coordina l'attività dei gruppi di lavoro; è assistito da tre Gruppi ad Hoc su Procedure Interne, Budget e Materie Regolamentatorie. Approva le specifiche elaborate dai gruppi di lavoro e gestisce i rapporti con gli Organismi Internazionali di Normativa.

5.3 Moduli

Il Progetto è suddiviso in quattro Moduli, ciascuno dei quali focalizzato su un aspetto specifico della problematica affrontata dal consorzio. I Moduli Tecnico e Commerciale costituiscono i gruppi propulsori delle attività di elaborazione delle specifiche; il Modulo sui Diritti e Proprietà Intellettuale si occupa della gestione dei brevetti acquisiti dai membri del consorzio nella definizione delle specifiche mentre quello su Promozione e Comunicazione è incaricato della promozione su scala mondiale dei risultati ottenuti dal progetto.

5.4 Gruppi di Lavoro

L'effettiva attività di studio e sviluppo delle specifiche DVB viene svolta all'interno dei Gruppi ad Hoc i quali operano sulla base di ben definiti e circoscritti obiettivi e nei quali sono attivi gli esperti dei vari membri del consorzio.

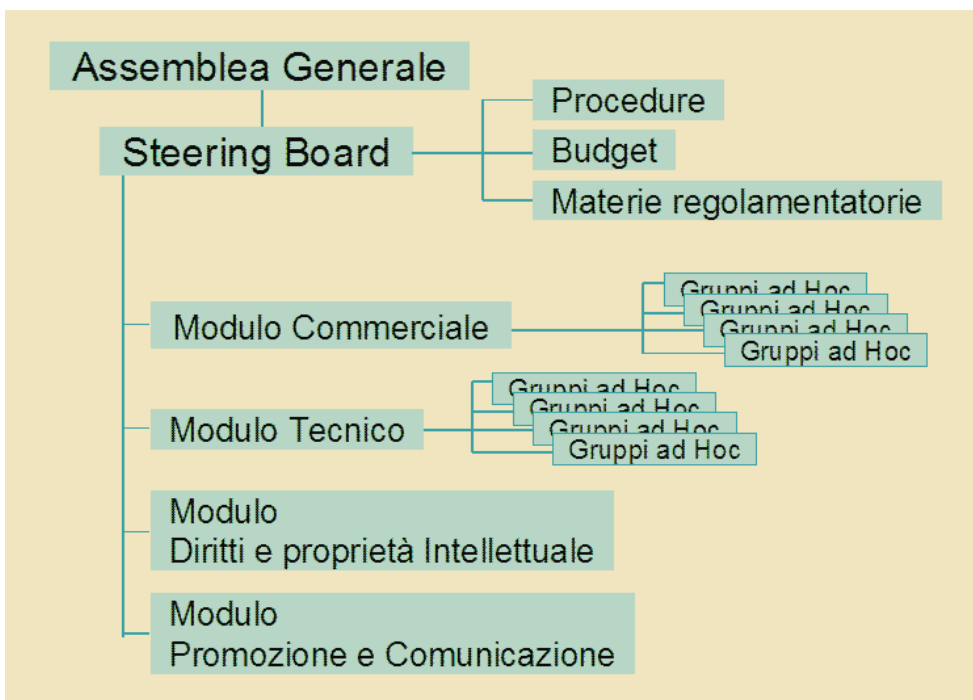



Fig. 1 - Struttura organizzativa del Progetto DVB

5.5 Osservatori

Sono presenti nel Progetto alcuni Organismi Internazionali i quali agiscono da consulenti senza diritto di voto all'Assemblea generale. Tra questi figurano UER, SMPTE, Cable Labs.

5.6 Gruppi di lavoro dei Moduli Commerciale e Tecnico

L'articolazione in Gruppi di Lavoro aventi lo scopo di affrontare problemi specifici e che, pertanto, hanno una vita limitata al relativo periodo di attività non presenta un quadro stabile della loro struttura. Nelle tabelle 2 e 3 è indicata l'attuale composizione dei due Moduli con il mandato di ciascun gruppo.

5.7 Working procedure

Il Progetto DVB è un consorzio di organismi pubblici e privati orientato al mercato e finalizzato a sviluppare un sistema di riferimento per l'avvio dei nuovi servizi in un contesto che tenga conto delle reali necessità dell'utenza e delle opportunità economiche dell'industria. Il Progetto sviluppa specifiche per i sistemi di TV digitale che vengono sottoposte ad approvazione da parte dei competenti Organismi Internazionali quali ETSI e CENELEC. Dal momento in cui una specifica viene standardizzata, inizia l'attività di promozione su scala internazionale.

Tab. 2 - Struttura del Modulo Commerciale - Presidente G. Mills - Gruppi ad Hoc attivi.

Nome del gruppo:	**Mandato**
Copy protection (CP)	Elaborazione dei requisiti commerciali del sistema DVB di Copy Protection e Copy Management (CPCM)
Head Ends (HE)	Valutazione delle richieste di mercato per completare la normativa atta a facilitare l'interoperabilità tra sistemi head-end
IP Databroadcasting (IPDC)	Valutazione dei requisiti commerciali per il sistema di trasmissione dati attraverso reti IP
Personal Digital Recording (PVR)	Determinazione dei requisiti commerciali per la norma che specifica il sistema di registrazione dei segnali DVB da parte dei PVR e dei requisiti commerciali per l'integrazione delle funzionalità dei PVR nella MHP
MHP Automotive (MHP Auto)	Valutazione dei requisiti commerciali inerenti sistemi di erogazione di servizi MHP a piattaforme per mezzi in movimento
MHP Home Networking (MHP HN)	Valutazione dei requisiti commerciali per applicazioni MHP su apparati inseriti in reti domestiche
MHP Portable Content Format (MHP PCF)	Definizione dei requisiti commerciali per la specifica di un formato per l'erogazione di servizi di TV interattiva ad una molteplicità di piattaforme (inclusa la MHP) con un minimo di re-authoring
Advanced Video and Audio Coding (AVC)	Definizione dei requisiti commerciali per lo sviluppo di formatii mirati alla distribuzione di contenuti A/V per servizi multimediali attraverso reti a larga banda.

La storia di ogni Standard DVB inizia nell'ambito del Modulo Commerciale. Sulla base di una accurata analisi delle, esigenze del mercato, il Modulo Commerciale stila un elenco di *User Requirements* in cui vengono tenuti in conto modalità di accesso ai servizi, tempistiche di penetrazione e costi. Dopo che il consenso sui requisiti è stato raggiunto all'interno del Modulo Commerciale, la proposta di sviluppo della specifica viene inviata al Modulo Tecnico.

Il compito di sviluppare la specifica è affidato al Modulo Tecnico ed ai suoi Gruppi ad Hoc i quali esaminano dapprima le implicazioni tecnologiche dei requisiti d'utente e valutano la fattibilità industriale delle idee proposte. Successivamente vengono individuate le soluzioni tecniche più idonee e, sulla base del consenso, viene scelta e sviluppata quella che maggiormente soddisfa i requisiti di partenza. I risultati sono quindi sottoposti nuovamente al vaglio del Modulo Commerciale, ricevuto il supporto del quale, la specifica è inviata allo Steering Board. Quando lo Steering Board ha dato l'approvazione definitiva, la specifica viene inviata ai competenti Organismi di Standardizzazione attraverso EBU/ETSI/CENELEC Joint Technical Committee dell' ITU.

Tab. 3 - Struttura del Modulo Tecnico - Presidente U. Reimers - Gruppi ad Hoc attivi.

Nome del gruppo	Mandato
A/V Content Formats	Definizione del formato per l'erogazione di servizi Audio e Video multimediali attraverso reti a larga banda.
Convergence of Broadcast and Mobile Services (CBMS)	Definizione delle specifiche del sistema di Datacast su reti IP
Copy Protection Technical (CPT)	Definizione delle specifiche di un sistema DVB di copy protection e copy management system.
Generic Data Broadcasting and Service Information Protocols (GBS)	Definizione delle specifiche del Transport Layer per i nuovi formati di codifica Audio e Video.
IP Infrastructures (IPI)	Studio di soluzioni tecniche per l'invio di servizi DVB su supporto IP.
DVB-H (H)	Studio del sistema per la trasmissione di servizi DVB ad apparati hand-held.
DVB Headend Systems (HEAD)	Definizione di interfacce and componenti per sistemi headend (inclusi head-end Simulcrypt)
MHP Experts Group (MEG)	Verifica delle test suites MHP
MHP Umbrella Group (MUG)	Amalgamazione delle specifiche MHP con quelle di sistemi non-DVB.
Return Channel Satellite (RCS)	Adattamento dell'attuale specifica RCS alla norma DVB-S2.
Extensions of the DVB-S System (S2)	Sviluppo del sistema DVB-S2
Technical Aspects of the Multimedia Home Platform (TAM)	Specifica dei parametri tecnici del sistema MHP. Attualmente concentrato sulle applicazioni alla MHP del PCF

La gestione dei brevetti costituisce un problema non trascurabile se si tien conto che tutto il lavoro svolto all'interno del DVB viene condotto in collaborazione tra i vari membri e le soluzioni proposte vengono adottate sella base del consenso. Il Modulo Proprietà Intellettuale e Diritti fornisce ai membri il supporto per la ricerca di adeguate soluzioni ai problemi che possono sorgere in seguito allo sviluppo industriale di ciascuna specifica.

6. La normativa internazionale promossa dal DVB

I risultati ottenuti dal Progetto in 12 anni di attività sono evidenziati negli oltre 80 documenti ETSI/CENELEC finora pubblicati nei quali sono contenuti standard e rapporti tecnici. L'insieme dei documenti costituisce un sistema articolato di norme che coprono tutti i segmenti del sistema televisivo digitale:

- codifica di sorgente Video e Audio
- multiplazione
- trasmissione
- interattività
- piattaforma multimediale (MHP)
- sottotitolazione
- interfacciamento con reti non broadcast
- trasporto di servizi DVB su protocollo IP
- accesso condizionato

Alcuni standard formano la base del sistema; altri hanno la funzione di assicurare un adeguato interfacciamento con altri segmenti del "villaggio globale". Si citano qui le norme più importanti:

EN 300 421 *Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services*

Specifica i parametri per il sistema di trasmissione digitale via satellite denominato DVB-S

EN 300 429 *Framing structure, channel coding and modulation for cable systems*

Specifica i parametri per il sistema di trasmissione digitale via reti in cavo denominato DVB-C

EN 300 744 *Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*

Specifica i parametri per il sistema di trasmissione digitale via reti di diffusione terrestre denominato DVB-T

I tre standard suddetti differiscono tra loro nel sistema di modulazione (QPSK per il satellite, QAM per il cavo e COFDM per il terrestre) che è stato scelto, per ciascuna delle tre applicazioni, col criterio di ottimizzarne le prestazione in funzione della tipologia del canale di trasmissione. Per il rimanente dei parametri, si è cercato di realizzare la massima "commonality" onde favorire l'economia di scala nello sviluppo dei decodificatori.

E' attualmente in corso di pubblicazione la norma:

Draft EN 302 307 *Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*

che grazie all'adozione di alcune soluzioni tecniche innovative quali la codifica di canale LDPC (Low Density Parità Check Code) migliorando sostanzialmente l'efficienza del sistema di trasmissione.

EN 300 468 *Specification for Service Information (SI) in DVB systems*

Il documento specifica i dati SI da inserire nel multiplex DVB in modo da assistere l'utente nella selezione dei servizi di TV digitale.

EN 301 790 *Interaction channel for Satellite Distribution Systems*

EN 301 958 *Specification of interaction channel for digital terrestrial TV including multiple access OFDM*

Le due norme suddette specificano i parametri del canale di ritorno per la radiodiffusione, rispettivamente, via satellite e rete terrestre.

TS 101 812 *Multimedia Home Platform (MHP)*

La Multimedia Home Platform (MHP) è uno standard middleware creato per favorire l'interoperabilità dei servizi di TV interattiva. In pratica, la specifica consiste in una descrizione (attraversi le API) delle funzionalità del terminale che possono essere attivate da una data applicazione facente parte del servizio erogato. Inoltre, la configurazione hardware e l'infrastruttura di segnalazione di un terminale conforme alla specifica MHP abilitano quest'ultimo a ricevere servizi di TV digitale provenienti da reti di diversa tipologia (satellite, cavo, rete terrestre) e ad operare indipendentemente dal tipo di codifica DVB-S, DVB-C, DVB-T.

TS 102 819 *Digital Video Broadcasting (DVB); Globally Executable MHP (GEM)*

In alcune regioni tra cui Stati Uniti e Giappone, per motivi legati al mercato o per ragioni tecniche, non è proponibile l'impiego dei segnali di servizio DVB e ciò renderebbe impraticabile la piattaforma MHP. Nonostante tali divergenze è fortemente sentita l'esigenza di rendere fattibili applicazioni "globalmente" interoperabili di servizi MHP (GEM, Globally Execution of MHP) anche attraverso differenti infrastrutture di rete. Una tale interoperabilità può essere ottenuta nella misura in cui gli standard middleware sono basati sulle stesse API. La specifica in oggetto definisce le API, il linguaggio semantico ed i formati del materiale interattivo a cui debbono attenersi tutti gli standard di TV digitale che supportano le applicazioni GEM

TS 102 034 *Transport of MPEG-2 Based DVB Services over IP Based Networks*

TS 102 813 *Transport of DVB Services over IP-based Networks: IEEE1394 Home Network Segment*

TS 102 814 *Transport of DVB Services over IP-based Networks: Ethernet Home Network Segment*

Le tre norme riguardano l'erogazione di servizi DVB (codificati con tecnologia MPEG 2 ed incapsulati nel MPEG TS) attraverso reti IP bidirezionali.

L'ultima, in ordine di tempo, importante realizzazione del Progetto è stata la finalizzazione della norma per il sistema di trasmissione verso apparati "handheld" (sistema DVB-H). La specifica consiste nell'adattamento della norma DVB-T ai requisiti di funzionamento di ricevitori caratterizzati da dimensioni, peso e consumi energetici ridottissimi.

La norma attualmente contrassegnata con l'identificativo:

Draft EN 302 304 *Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)*

è in via di approvazione in sede ETSI

Nella tabella 4 è riportato l'elenco completo dei documenti ETSI/CENELEC

7. La penetrazione degli standard DVB in Europa e nel mondo

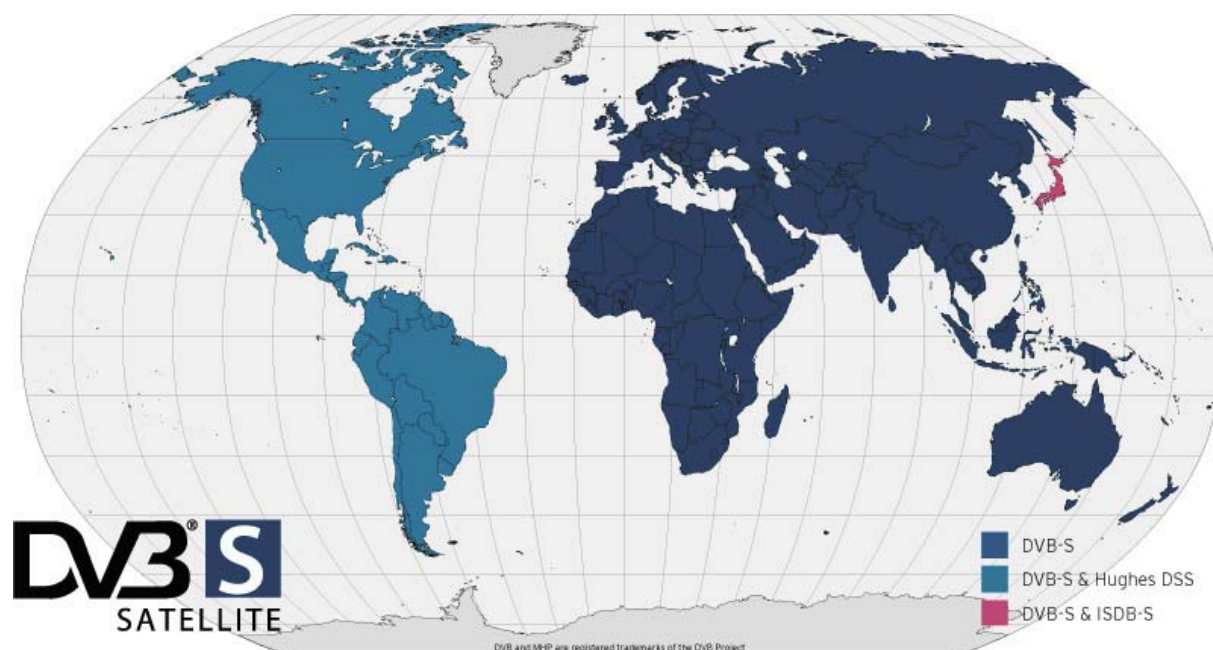
Nato come iniziativa europea, il Progetto DVB ha progressivamente raccolto consensi a livello mondiale. I maggiori esponenti dei comparti industriali hanno presto compreso che il metodo pragmatico con cui procedevano i lavori ed i positivi risultati via via conseguiti avrebbero offerto una interessante opportunità di sviluppo dei loro prodotti; il tutto favorito dall'economia di scala che una estensiva penetrazione di mercato avrebbe potuto assicurare. Dagli iniziali 80 firmatari del primo MoU il consorzio è oggi giunto a superare i 400 membri provenienti da più di 35 paesi situati nei vari continenti. L'elenco dei membri è consultabile sul sito [2].

La situazione attuale circa la penetrazione degli standard DVB nel mondo è illustrata nelle mappe di figure 2, 3, 4, 5 (le mappe sono state riprodotte con il permesso del *DVB Project Office).*

L'evoluzione e lo sviluppo della TV digitale nei singoli paesi che hanno adottato le specifiche DVB è consultabile sul sito [3].

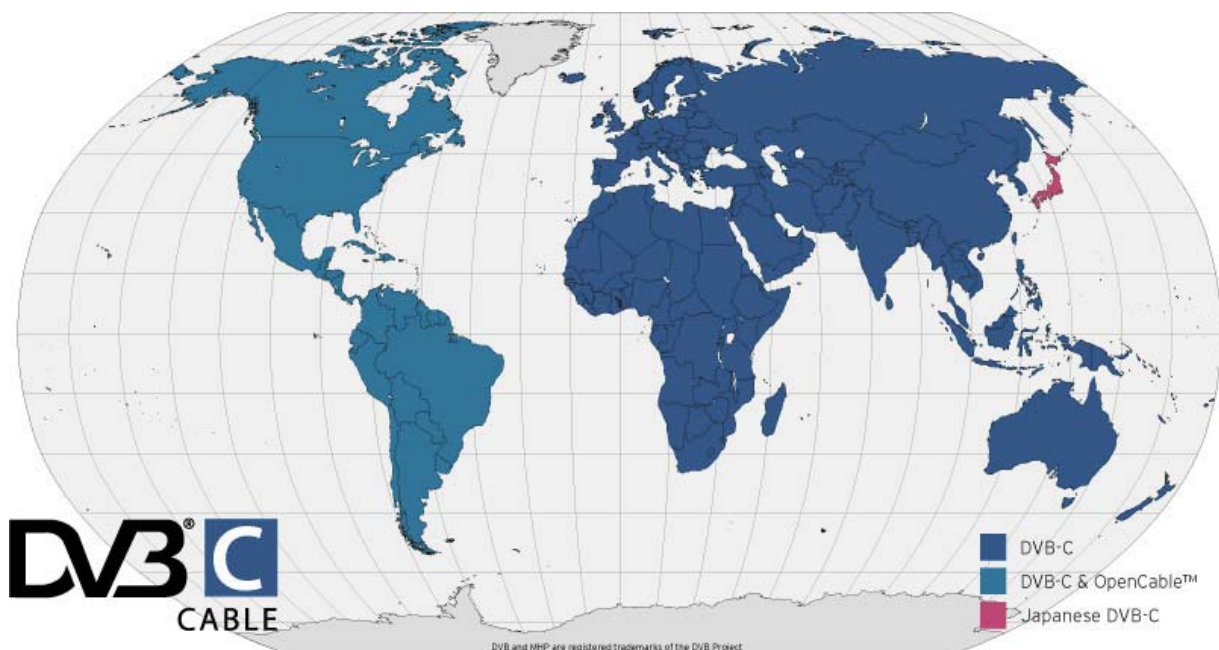
8. Le principali attività attualmente in svolgimento

Le risorse del progetto sono attualmente concentrate sugli aspetti di sistema legati, in particolare, ai nuovi servizi interattivi e multimediali. Le specifiche sul Service Information e sul Data Broadcasting sono state revisionate incorporandovi tutti gli

Fig. 2 - Diffusione dello standard DVB-S a livello mondiale

elementi necessari a supportare il lancio dei nuovi servizi in DVB-H; si attende a breve l'approvazione a livello ETSI. Allo stato attuale il "corpus" delle specifiche inerenti il sistema DVB-H è completo. E' altresì in progresso l'editing delle *Implementation Guidelines*.

Il gruppo di lavoro sulla convergenza tra servizi broadcast e servizi mobili sta lavorando attivamente nella finalizzazione dei Technical Requirements per il sistema di IP Datacast. Si tratta di un campo di attività alquanto complesso che coinvolge interfacciamenti sia in ambito del mondo IP che in ambito di quello delle comunicazioni mobili. Su alcuni punti è necessaria una riflessione; tra questi assume particolare importanza l'utilizzo del formato Ipv6 e l'armonizzazione dei formati di codifica dei contenuti tra gli ambienti DVB e 3G.

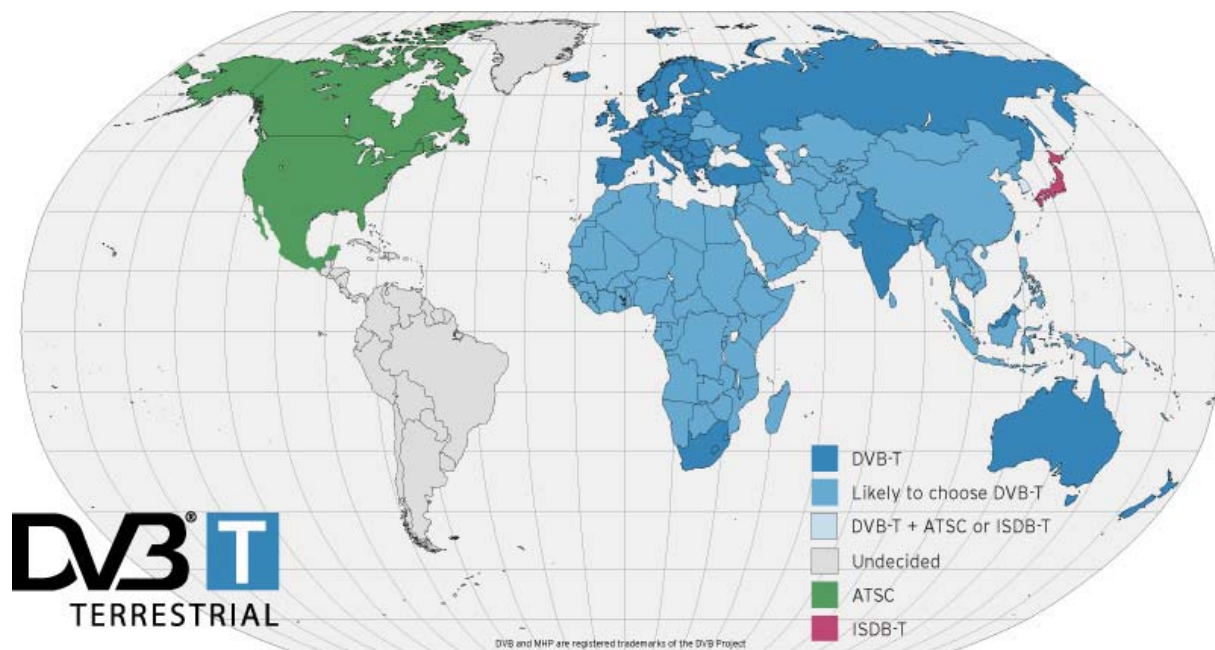
Nel quadro dei nuovi servizi è interessante effettuare qualche considerazione sul DVB-S2, il sistema satellitare di seconda generazione che trae beneficio dai più recenti sviluppi nella codifica di canale LDPC (*Low Density Parity Check Code*) combinati con una varietà di formati di modulazione (QPSK, 16APSK e 32APSK). Quando viene impiegato per applicazioni interattive punto-punto come IP, esso può implementare l'ACM (*Adaptive Coding Modulation*) consentendo così ai parametri di trasmissione di essere ottimizzati per ciascun utente, a seconda delle condizioni del canale. Sono anche disponibili modi compatibili, al fine di consentire l'operatività, durante il periodo di transizione, dei servizi DVB-S e dei STB esistenti. Il sistema consente il canale di ritorno i cui parametri tecnici sono stati definiti in collaborazione con il gruppo ad-hoc DVB-RCS.

Fig. 3 - Diffusione dello standard DVB-C a livello mondiale

Il Gruppo di lavoro sugli aspetti tecnici della MHP sta lavorando all'estensione della piattaforma per la gestione dei PDR; a tal proposito è stata lanciata una *Call for contributions*. Facendo seguito all'emissione, da parte del Commercial Module, di una serie di requisiti per il PCF (formato il cui scopo è quello di permettere l'erogazione di una varietà di servizi digitali interattivi ad una molteplicità di piattaforme con un minimo di re-authoring), il Technical Module sta elaborando la relativa specifica tecnica. I risultati sono attesi per il primo quarto del 2005.

Il gruppo di lavoro sugli IP ha definito una serie di requisiti per l'informazione CoDDS (*content on demand discovery & selection*) ed ha effettuato una valutazione sull'idoneità dei metadati TV-Anytime a soddisfarli. Essendo l'indagine risultata positiva, il gruppo finalizzerà la relativa specifica entro Giugno 2004.

E' stata valutata l'opportunità di procedere alla fase 2 di attività individuando un elenco di argomenti, tra cui il trasporto di materiale AVC, l'*home networking* e la *security*.

Si segnalano infine due problematiche il cui impatto sullo sviluppo dei servizi è particolarmente influente e la cui criticità rende relativamente difficoltosa la ricerca di accordi sulle soluzioni da individuare. La prima verte sui nuovi formati proposti per la codifica di sorgente (VC-1 e AVC) che offrono un netto miglioramento nell'efficienza di codifica rispetto al consolidato standard MPEG 2 il cui abbandono causerebbe, per contro, una destabilizzazione nel processo di introduzione della TV digitale. La seconda problematica tocca

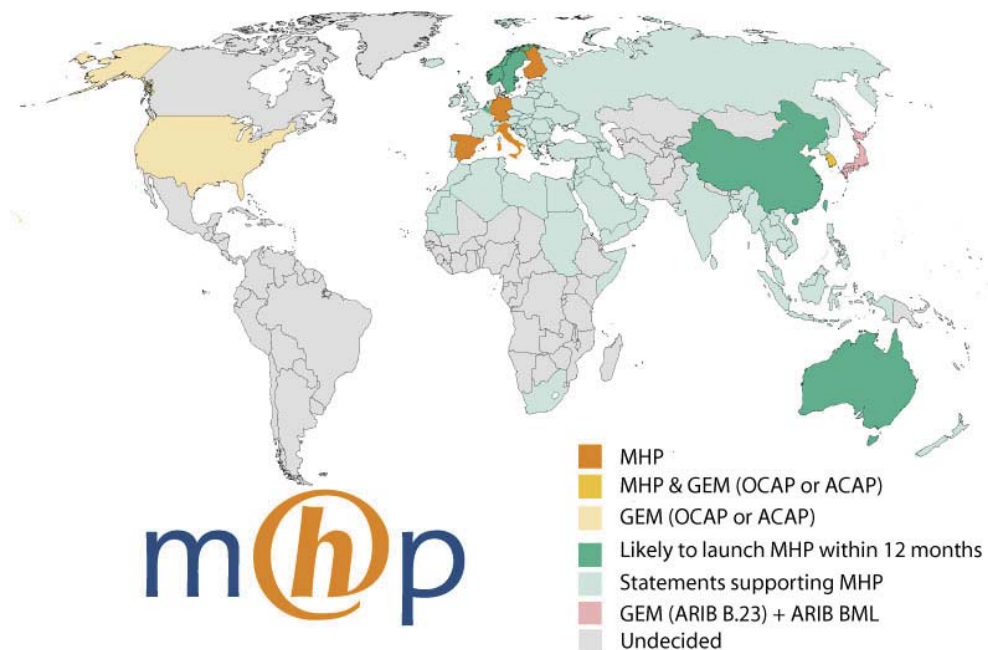
Fig. 4 - Diffusione dello standard DVB-T a livello mondiale

il difficile campo della *Content Protection*; l'attività è svolta prevalentemente nell' ambito del Modulo Commerciale mentre sul fronte tecnico non si stanno registrando per ora significativi progressi.

9. DVB 3.0. La strada verso il futuro

Recentemente lo *Steering Board* ha approvato un documento che traccia le linee di attività del Consorzio per i prossimi anni. Con riferimento ad uno scenario che verosimilmente caratterizzerà il mondo consumer nei prossimi decenni, l'attenzione viene posta sugli sviluppi dei terminali; apparati basati su tecnologia DVB saranno presenti in vari ambienti: abitazioni private, uffici pubblici, autovetture, treni.

I ricevitori (sia set-top-box che ricevitori integrati) offriranno soluzioni commerciali con una varietà di opzioni: hard-disc, registratori DVD, modem... La tendenza della maggior parte dei costruttori è quella di dotare i set-top-box di CPU operanti a velocità via via crescenti e di memorie di massa sempre più capienti; con ciò si ridurrà progressivamente il *gap* tra ricevitori e PC favorendo la convergenza funzionale tra le due categorie di apparati. Le esigenze della mobilità saranno soddisfatte dalla diffusione dei terminali *handset* più potenti capaci di offrire funzionalità voce, dati e DVB-H. Nello stesso tempo, aumenterà l'offerta di schede opzionali da inserire nei PC per consentire di sviluppare le funzioni della TV digitale.

Gli schermi piatti stanno rapidamente migliorando in qualità e diminuendo in costo.

Fig. 5 - Diffusione dello standard MHP a livello mondiale

Questo evento potrebbe rappresentare una importante opportunità per arricchire i set-top-box di più funzionalità. Si sta, fra l'altro, assistendo ad un risveglio di interesse nei confronti della HDTV. Anche a livello di Comunità Europea, ove, al riguardo, nel corso dell'ultimo decennio aveva prevalso un netto scetticismo, si parla ormai di "ritorno al futuro" e si auspica una diversificazione delle tipologie dei servizi al fine di massimizzare il mercato; BskyB e TPS anno annunciato l'intenzione di lanciare servizi PayTv in TVHD entro un anno; sul fronte dei servizi *free* alcuni radiodiffusori francesi stanno, da parte loro, discutendo l'eventualità di varare trasmissioni regolari di HDTV terrestre.

Bibliografia

1. Memorandum of Understanding
www.dvb.org/documents/mou2001.pdf
2. List of DVB Members,
www.dvb.org/index.php?id=27
3. DVB Worldwide
www.dvb.org/index.php?id=228

Nel corrente mese di dicembre è inoltre stato pubblicato:

- U. Reimers, Ulrich: "DVB. The Family of International Standards for Digital Video Broadcasting", Ed. Springer, Series: Signals and Communication Technology, 2nd ed., 2004, XVII, 408 p. 261 illus., ISBN: 3-540-43545-X

Tab. 4 - Elenco dei documenti ETSI/CENELEC - Applicazione: trasmissione

Specifica	Doc. ETSI	Ed.	Titolo
DVB-S	ETS 300 421	1	Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services
	EN 300 421	1.1.2	Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services
	TR 101 198	1.1.1	Implementation of Binary Phase Shift Keying (BPSK) modulation in DVB satellite transmission systems
DVB-S2	Draft EN 302 307	1.1.1	Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)
DVB-C	ETS 300 429	1	Framing structure, channel coding and modulation for cable systems
	EN 300 429	1.2.1	Framing structure, channel coding and modulation for cable systems
DVB-SMATV	ETS 300 473	1	DVB Satellite Master Antenna Television (SMATV) distribution systems
	EN 300 473	1.1.2	DVB Satellite Master Antenna Television (SMATV) distribution systems
	TS 101 964	1.1.1	Control Channel for SMATV/MATV distribution systems; Baseline Specification
	Draft TR 102 252	1,1,1	Guidelines for Implementation and Use of the Control Channel for SMATV/MATV distribution systems
DVB-T	ETS 300 744	1	Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television

continua ...

	EN 300 744	1.4.1	Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television
	TR 101 190	1.1.1	Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects
DVB-SFN	TS 101 191	1.3.1	Mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization
DVB-H	Draft EN 302 304	1.1.1	Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)
DVB-MS	EN 300 748	1.1.2	Multipoint Video Distribution Systems (MVDS) at 10 GHz and above
DVB-MC	EN 300 749	1.1.2	Framing structure, channel coding and modulation for MMDS systems below 10 GHz
DVB-MT	EN 301 701	1.1.1	OFDM modulation for microwave digital terrestrial television
DVB-DSNG	EN 301 210	1.1.1	Framing structure, channel coding and modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and other contribution applications by satellite
	TR 101 221	1.1.1	User guideline for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and other contribution applications by satellite
	EN 301 222	1.1.1	Co-ordination channels associated with Digital Satellite News Gathering (DSNG)
DVB-SI	EN 300 468	1,5,1	Specification for Service Information (SI) in DVB systems
	ETR 211	2	Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI)
	TR 101 211	1.5.1	Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI)
	Draft TR 101 162	1.2.1	Allocation of Service Information (SI) codes for DVB systems
DVB-TXT	EN 300 472	1.3.1	Specification for conveying ITU-R System B Teletext in DVB bitstreams
DVB-VBI	EN 301 775	1.2.1	Standard for conveying VBI data in DVB bitstreams
DVB-Data	TS 101 192	1.2.1	Specification for data broadcasting
	Draft EN 301 192	1.4.1	Specification for data broadcasting
	TR 101 202	1.2.1	Specification for data broadcasting; Guidelines for the use of EN 301 192
DVB-SSU	TS 102 006	1.2.1	Specification for System Software Update in DVB Systems
DVB-TVA	Draft TS 10W XYZ	1.1.1	Carriage and signalling of TV-Anytime information in DVB transport streams
DVB-MPEG	ETR 154	3	Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in satellite, cable and terrestrial broadcasting applications
	TR 101 154	1.4.1	Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in satellite, cable and terrestrial broadcasting applications
	TR 102 154	1.1.1	Implementation Guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in Contribution Applications
DVB-SUB	ETS 300 743	1	Subtitling systems

continua ...

	EN 300 743		Subtitling systems
DVB-NIP	ETS 300 802	1	Network-independent protocols for DVB interactive services
	TR 101 194	1.1.1	Guidelines for implementation and usage of the specification of network independent protocols for DVB interactive services
DVB-RCC	ETS 300 800	1	Interaction channel for Cable TV distribution systems (CATV)
	ES 200 800	1.3.1	Interaction channel for Cable TV distribution systems (CATV)
	TR 101 196	1.1.1	Interaction channel for Cable TV distribution systems (CATV); Guidelines for the use of ETS 300 800
DVB-RCP	ETS 300 801	1	Interaction channel through Public Switched Telecommunications Network (PSTN)/ Integrated Services Digital Networks (ISDN)
DVB-RCD	EN 301 193	1.1.1	Interaction channel through the Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT)
DVB-RCL	EN 301 199	1.2.1	Interaction channel for Local Multipoint Distribution System (LMDS) distribution systems
	TR 101 205	1.1.2	Guidelines for the implementation and usage of the DVB interaction channel for Local Multipoint Distribution System (LMDS) distribution systems
DVB-RCG	EN 301 195	1.1.1	Interaction channel through the Global System for Mobile Communications (GSM)
DVB-RCCS	TR 101 201	1.1.1	Interaction channel for Satellite Master Antenna TV (SMATV) distribution systems; Guidelines for versions based on satellite and coaxial sections
DVB-RCS	EN 301 790	1.3.1	Interaction channel for Satellite Distribution Systems
	TR 101 790	1.2.1	Guidelines for the Implementation and Usage of the DVB Interaction Channel for Satellite Distribution Systems
DVB-RCT	EN 301 958	1.1.1	Digital Video Broadcasting (DVB); Specification of interaction channel for digital terrestrial TV including multiple access OFDM
DVB-RCGPRS	Draft ES 202 218	1.1.1	Digital Video Broadcasting (DVB); Interactive channel through the General Packet Radio System (GPRS)
DVB-MHP	TS 101 812	1.3.1	Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP)
	Draft ES 201 812	1.1.1	Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP)
	TS 102 812	1.2.1	Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP) in HTML extensions
	Draft ES 202 812	1.1.1	Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP) in HTML extensions
	TS 102 819	1.1.1	Digital Video Broadcasting (DVB); Globally Executable MHP (GEM)
	Draft TS 102 819	1.1.1	Digital Video Broadcasting (DVB); Globally Executable MHP (GEM)
DVB-PDH	ETS 300 813	1	DVB Interfaces to Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) networks

continua ...

DVB-SDH	ETS 300 814	1	Interfaces to Synchronous Digital Hierarchy (SDH) networks
DVB-ATM	TR 100 815	1.1.1	Guidelines for the handling of ATM signals in DVB systems
DVB-HAN	TS 101 224	1.1.1	Home Access Network (HAN) with an active Network Termination (NT)
DVB-HLN	TS 101 225	1.1.1	In-Home Digital Network (IHDN) Home Local Network (HLN)
DVB-CI	EN 50221 (CENELEC)	1	Common Interface Specification for Conditional Access and other Digital Video Broadcasting Decoder Applications
	R 206 001 (CENELEC)	1	Guidelines for implementation & use of the Common Interface for DVB Decoder Applications
	TS 101 699	1.1.1	Extensions to the Common Interface Specification
DVB-PI	EN 50083-9 (CENELEC)	3	Interfaces for CATV/SMATV Headends and similar Professional Equipment
	TR 101 891	1.1.1	Digital Video Broadcasting (DVB); Professional Interfaces: Guidelines for the implementation and usage of the DVB Asynchronous Serial Interface (ASI)
DVB-IRDI	EN 50201 (CENELEC)	1	Interface for DVB-IRDs
	TS 102 201	1.1.1	Interfaces for DVB-IRDs
	Draft TS 102 201	1.2.1	Interfaces for DVB-IRDs
DVB-IPI	TR 102 033	1.1.1	Architectural Framework for the Delivery of DVB-Services over IP-based Networks
	Draft TS 102 034	1.1.1	Transport of MPEG-2 Based DVB Services over IP Based Networks
	TS 102 813	1.1.1	Transport of DVB Services over IP-based Networks: IEEE1394 Home Network Segment
	TS 102 814	1.2.1	Transport of DVB Services over IP-based Networks: Ethernet Home Network Segment
DVB-CSA	ETR 289	1	Support for use of scrambling and Conditional Access (CA) within digital broadcasting systems
DVB-SIM	TS 103 197	1.3.1	Head-end Implementation of SimulCrypt
	Draft TS 103 197	1.4.1	Head-end Implementation of SimulCrypt
	TR 102 035	1.1.1	Implementation Guidelines of the DVB Simulcrypt Standard
DVB-M	ETR 290	1	Measurement guidelines for DVB systems
	TR 101 290	1.2.1	Measurement guidelines for DVB systems
	TR 101 291	1.1.1	Usage of DVB test and measurement signaling channel (PID 0x001D) embedded in an MPEG-2 Transport Stream (TS)
	TS 102 032	1.1.1	SNMP MIB for test and measurement applications in DVB systems

fine.

Alcuni articoli pubblicati su Elettronica e Telecomunicazioni correlati con gli argomenti citati nell'articolo

gli articoli contrassegnati con + sono disponibili su Elettronica e Telecomunicazioni on-line, nel sito web del Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica - ww.crit.rai.it

Sugli standard DVB

- M. Cominetti, A.Morello: “Il sistema europeo (DVB-S) per la diffusione televisiva da satellite”; n°3, 1994
- M. Cominetti, A. Morello, R. Serafini: "Prospettive per l’introduzione della televisione digitale terrestre in Italia", N° 3, dicembre 1999.
- V.Mignone, A.Morello: ”Il nuovo standard DVB per il DSNG ed altri collegamenti di contributo via satellite”; n°1; 2000
- M.Cominetti, A.Polo, V.Sardella: “Una nuova soluzione per la distribuzione di segnali DVB negli impianti centralizzati d’antenna”; n°2; 2000
- M.Cane; D.Gibellino: “Multimedia Home Platform: uno standard comune per servizi e terminali domestici”; n°3; 2000
+ M.Cominetti: "La televisione digitale terrestre: un’opportunità per il nostro paese"; n°1, 2002
+ V.Mignone, A.Morello, M.Visintin: “Lo standard DVB-T per la televisione digitale terrestre”; n°1, 2002
+ P.B.Forni, S.Ripamonti, V.Sardella: “Sperimentazione pre-operativa DVB-T in area di servizio”; n°1, 2002
+ A.Bertella;B.Sacco;M.Tabone: "Valutazione in laboratorio delle prestazioni del sistema DVB-T"; n°1, 2002
+ V. Mignone, A. Morello: "Il sistema DVB-S2 di seconda generazione per la trasmissione via satellite e Unicast"; n°3, 2003

Su HDTV e Italia '90

- M. Barbero, S. Cucchi: "Codifica del segnale televisivo numerico: Architettura di un co-decodificatore HDTV utilizzante la DCT"; n°1, 1990
- G. F. Barbieri: "Italia '90: Prima mondiale di collegamento numerico in HDTV via satellite"; n° 3, 1990
- M. Ardito, G. F. Barbieri, M. Cominetti: "Italia '90: Un passo significativo verso la Televisione ad Alta Definizione"; n° 3, 1990
- M. Cominetti, A. Morello: "Italia '90: Trasmissione numerica punto-multipunto via satellite di segnali HDTV"; n° 3, 1990
- M. Barbero, S. Cucchi, R. Del Pero, G. Dimino, M. Occhiena, M. Muratori, M. Stroppiana: "Italia '90: Codifica del segnale televisivo numerico"; n° 3, 1990
- F. Bonacossa, G. Moro, B. Sacco, T. Tabone: "Italia '90: Stazioni trasmittenti di segnali numerici via satellite Olympus"; n° 3, 1990
- M. Ariaudo, G. Cerruti, G. Garazzino: "Italia '90: Postazioni riceventi per trasmissioni punto-multipunto di HDTV numerica via satellite"; n° 3, 1990
- D. Tognetti, S. Del Cont Bernard: "Italia '90: Sistema di proiezione HDTV"; n° 3, 1990
- G:B: Greborio, V. Sardella: "Italia '90: Collegamenti in fibra ottica per HDTV"; n° 3, 1990

Su MPEG-2 e AVC

+ M. Barbero, N. Shpuza, "Uno standard pervasivo (MPEG-2 video) - Parte I"; n°1, 2003
+ M. Barbero, N. Shpuza, "Uno standard pervasivo (MPEG-2 video) - Parte II"; n°2, 2003
+ M. Barbero, N. Shpuza, "Advanced Video Coding: il prossimo futuro - Parte I; n° 1, 2003
+ M. Barbero, N. Shpuza, "Advanced Video Coding: il prossimo futuro - Parte II; n° 2, 2003

Sistemi interattivi per la TV Digitale

Michele **Visintin**
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica
Torino

1. La soglia dell'interattività nella DTT

Con la televisione oggi si può anche interagire: per l'operatore è un orizzonte strategico da affrontare e preparare.

Su quale linea di tendenza vanno misurate e selezionate le opportunità astrattamente offerte dalla tecnologia? La gran parte dei ricevitori DTT esterni presenti nelle case italiane è costituita da decoder basati sullo standard MHP (Multimedia Home Platform), in grado di eseguire applicazioni interattive trasmesse dall'operatore e di connettersi alla rete tramite modem telefonico a banda stretta. Il Centro Ricerche ha acquisito negli anni una notevole esperienza nello sviluppo di servizi interattivi sia legati alla programmazione televisiva, sia con caratteristiche di pubblica utilità (ad esempio, il portale t-government della Regione Piemonte), sia di carattere commerciale (il servizio t-banking di Intesa Sanpaolo), con l'utilizzo del canale di ritorno per la connessione al fornitore del servizio. Tuttavia, queste esperienze "sul campo" hanno evidenziato che i servizi interattivi più graditi dagli utenti sono quelli che propongono un arricchimento dell'offerta televisiva, piuttosto di quelli incentrati su una reale interazione bidirezionale, di fatto ostacolata dalla difficoltà di collegamento del decoder alla linea telefonica. Pertanto, negli ultimi tempi l'attività editoriale si è rivolta con maggior attenzione a quei servizi che, mantenendo la centralità del contenuto televisivo, offrono una interazione a carattere locale.

2. Televideo Digitale

I Televideo Digitale attualmente in onda, pur utilizzando una diversa impostazione editoriale dell'informazione, si basa sulla presenza di un sistema automatico di estrazione dell'informazione testuale dalle pagine del servizio analogico. Di fatto tale approccio impone vincoli di formattazione delle pagine e limita pertanto la quantità di pagine su cui si riesce a operare con successo in automatico.

Sommario

La Televisione Digitale Terrestre, oltre ad un incremento dei programmi e al miglioramento della qualità dei segnali audio/video, permette di aggiungere nuovi servizi fruibili dall'utenza sul televisore. In che modo gestire la nuova soglia dell'interattività? Il Televideo Digitale.

Pagina Televideo: versione analogica

La stessa pagina nella versione digitale

Una pagina in versione digitale e banner grafici

A fronte di questi problemi, il Centro Ricerche ha esaminato e sviluppato soluzioni tecniche che, attraverso lo standard MHP, possano rendere disponibile all'utente un Televideo equivalente o migliore della sua versione analogica, senza introdurre vincoli di alcun tipo al processo redazionale del servizio tradizionale, e senza riduzioni dell'offerta editoriale. Considerando che la popolarità del Televideo deriva dalla sua semplicità d'uso, garantita dall'accesso diretto alla pagina, mentre un albero di navigazione più complesso disorienterebbe l'utenza abituata a ricordare il numero di pagina associato all'informazione, sono stati mantenuti come requisiti di base: l'accesso e la visualizzazione delle pagine come nella versione analogica; la disponibilità di tutte le pagine del servizio analogico. Su questo impianto sono state aggiunte alcune caratteristiche migliorative rese possibili dalla piattaforma digitale interattiva: l'accesso immediato anche a tutte le sottopagine; la rappresentazione migliorata del testo e della grafica; la navigazione ipertestuale in aggiunta a quella tradizionale; l'aggiornamento rapido delle pagine di maggior interesse.

Nell'approccio innovativo che attualmente si sta analizzando, la rappresentazione di base della pagina è uguale a quella del servizio analogico, tranne che per il font del testo. Inoltre, si possono sovrapporre oggetti grafici, anche animati, che ne migliorano l'aspetto, sostituendo ad esempio il testo o la grafica realizzati in MOSAIC (caratteri semigrafici), i riquadri pubblicitari o intere pagine di pubblicità.

Nei terminali interattivi DTT di nuova generazione, che supportano l'Alta Definizione, il modem telefonico sarà sostituito da un connettore di rete analogo a quello del personal computer, per cui anch'essi potranno essere collegati a una rete a larga banda. In questo scenario il servizio Televideo potrà sfruttare la piena interattività: ad esempio si potrà accedere più velocemente alle pagine, annullando la latenza del canale diffusivo, oppure a nuove pagine di approfondimento appositamente create e il testo della pagina potrà essere convertito in voce sintetica da un centro servizi remoto e "letto" dal terminale.

TAV: la Televisione ad Alta Velocità

Aspetti realizzativi per distribuire la TV digitale a bordo di treni ad alta velocità

Andrea **Bertella**, Vittoria **Mignone**, Silvio **Ripamonti**,
Bruno **Sacco**, Mirto **Tabone** e Giovanni **Vitale**
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Giuseppe **Braccini,**
Rai Way

Sommario

I treni ad alta velocità sono utilizzati molto spesso come uffici viaggianti; in molti casi il viaggio in treno è vissuto come un momento di relax, così come accade durante gli spostamenti aerei. Qualunque sia lo stile del nostro viaggio, il poter accedere a contenuti TV live informativi o di intrattenimento rappresenta senza dubbio un arricchimento notevole dei servizi offerti a bordo. Il Centro Ricerche della Rai ha realizzato, su richiesta di RaiWay, uno studio di fattibilità per un sistema che fornisca un servizio di ricezione TV e radio digitale con programmi Rai a bordo dei treni ad alta velocità.

1. Introduzione

La concorrenza nel settore del trasporto ferroviario ad alta velocità ha stimolato la ricerca, anche da parte dei nuovi operatori, di servizi innovativi che arricchiscano l'offerta ai viaggiatori.

In questo contesto Rai Way S.p.A., la società del gruppo Rai che possiede e gestisce le infrastrutture di trasmissione e diffusione del segnale radiotelevisivo e che sta svolgendo un ruolo primario nel passaggio al digitale terrestre televisivo, ha individuato una interessante opportunità per valorizzare il proprio know-how la cui eccellenza viene riconosciuta anche in ambito internazionale.

L'idea consiste nell'estendere il servizio radiotelevisivo, nella sua nuova veste digitale, anche ai viaggiatori in treno, che potranno così trascorrere il tempo di viaggio in maniera rilassata, come se fossero sul divano di casa propria potendo fruire, in real time, di news, eventi sportivi e programmi di intrattenimento.

Il servizio si andrebbe ad aggiungere agli altri servizi digitali (telefonia e broadband) già disponibili a bordo dei treni, ed in via di potenziamento, destinati maggiormente ad un'utenza di tipo business.

Su questo tema è stata pertanto elaborata dal Centro Ricerche Rai, su richiesta e in collaborazione con l'unità organizzativa Sviluppo Business di Rai Way, una ipotesi di soluzione ad alto contenuto di innovazione che integra sinergicamente collaudate tecnologie già impiegate nel settore del digitale terrestre televisivo.

2. Risultati degli studi precedenti

Il progetto FIFTH [1], a cui ha partecipato il Centro Ricerche e si è concluso nel 2003, ha studiato la possibilità di distribuire programmi televisivi su treni ad alta velocità. La soluzione da esso proposta consiste nell'aggiungere un segnale dedicato da satellite, con due caratteristiche:

- basso bitrate, per minimizzare il costo del satellite,
- contenente due flussi gemelli, ma sfalsati di 10 minuti.

Grazie alla seconda caratteristica, il primo flusso ricevuto è memorizzato in un buffer, mentre il secondo flusso è quello normalmente distribuito all'utente. In caso di interruzioni (ostacoli brevi o anche gallerie più o meno lunghe) nel buffer di ricezione è comunque presente la replica e si può così ovviare alla mancanza di dati. Ciò implica che le gallerie devono essere percorse in meno di 10 minuti, in caso contrario viene a mancare il contributo sostitutivo offerto dalla **diversity temporale**.

Il sistema sopra citato soffre di alcuni limiti:

- ☹ scarsa offerta di programmi (ne è previsto uno solo in caso di ricezione comunitaria, e quattro in caso di ricezione individuale);
- ☹ limitata qualità video;
- ☹ costi di gestione per l'affitto del transponder satellitare (in realtà è utilizzata una frazione della capacità del transponder per ridurre il costo).

3. Obiettivi e vincoli per il nuovo studio

L'obiettivo iniziale di questo studio consiste nell'individuare soluzioni atte a fornire agli utenti sui treni ad alta velocità la ricezione, collettiva e individuale, di programmi televisivi e radiofonici con un'offerta ampia, e qualità video comparabile a quella di una ricezione fissa domestica, senza ulteriori spese per l'affitto di segmenti satellitari.

Questo studio di fattibilità ha lo scopo di confrontare le possibili soluzioni con quella considerata in FIFTH

Acronimi e sigle	
ASI-TS	Asynchronus Serial Interface - Transport Stream
AVC	Advanced Video Coding , nota anche come H.264
CRC	Cyclic Redundancy Check
DVB	Digital Video Broadcasting
FEC	Forward Error Correction
FIFTH	Fast Internet for Fast Trains Hosts
GSM-R	Global System for Mobile Communications - Railway
IP	Internet Protocol
MPE-FEC	Multi Protocol Encapsulation - FEC
SCPC	Single Channel Per Carrier
TS	Transport Stream

e valutarle dal punto di vista costi/benefici, anche in funzione dei requisiti più o meno stringenti presi in considerazione.

3.1 Copertura

Il servizio dovrebbe essere operante lungo tutta la linea ferroviaria percorsa dai treni interessati:

- le tratte a cielo aperto, servite dal segnale satellitare;
- le tratte in galleria;
- il transito e la sosta nelle principali stazioni.

3.2 Integrazione con servizi esistenti

L'infrastruttura di bordo e quella fissa in galleria devono integrarsi per quanto possibile con gli impianti esistenti:

- A bordo del treno esistono precisi vincoli: di dimensioni e di assorbimento per gli apparati; vincoli geometrici e meccanici per antenne e cablaggi; le interconnessioni tra i vagoni dovrebbero essere evitate.
- In galleria esistono strutture radianti a larga banda (cavi fessurati) per applicazioni GSM-R. Gli apparati potranno condividere tali strutture e quindi integrarsi con i relativi impianti.

4. Approccio "Bouquet esistente"

4.1 Requisiti del servizio

Nell'ottica di fornire all'utente un'offerta ampia, compatibilmente con costi e complicazione dell'infrastruttura, si pensa di utilizzare parte del *bouquet* TivùSat. Un esempio di programmi televisivi possibili candidati è indicata in tabella 1. Con tale scelta i transponder da ricevere sono 4 per ottenere 8 programmi TV, oppure 3 per ottenerne 7. Nel primo caso, tuttavia, si otterrebbero anche, ad esempio, i 4 programmi radiofonici Rai indicati in tabella 2.

4.2 Architettura di riferimento

Sulla base dei requisiti di progetto precedentemente introdotti è stata ideata da Rai Way l'architettura illustrata in figura 1.

A bordo del treno si tratta di ridistribuire i programmi televisivi e radiofonici, ricevuti ad esempio dalla piattaforma satellitare di TivùSat, tramite lo standard

Programma televisivo	Mux Sat
RaiUno	D 10.992 V Mediaguard/Nagravision 3
RaiDue	
RaiTre	
Rai News 24	D 11.804 V
Rete 4	D 11.919 V Mediaguard 2/Nagravison 3
Canale 5	
Italia 1	
La 7	D 11.541 V Nagravision 3

Tab. 1 - Un esempio di programmi televisivi candidati alla distribuzione sui treni ad alta velocità.

Programma radio	Mux Sat
Radio 1	D 11.804 V
Radio 2	
Radio 3	
Isoradio	

Tab. 2 - Un esempio di programmi radiofonici, fra quelli presenti nel bouquet TivùSat.

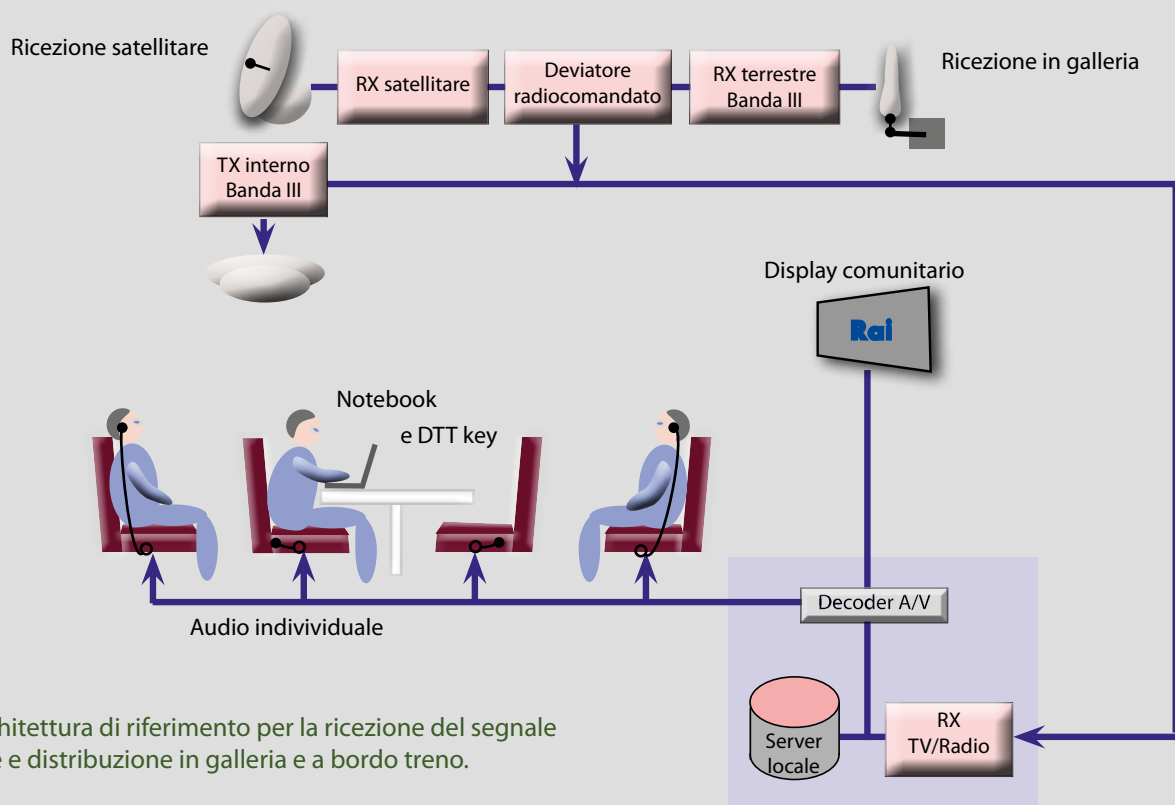



Fig. 1 - Architettura di riferimento per la ricezione del segnale da satellite e distribuzione in galleria e a bordo treno.

Fig. 2 - Distribuzione del segnale DVB-T in galleria..

Antenna ricezione satellitare
con sistema di autopuntamento

DVB-S

n Ricevitori DVB-S
Convertitori Mux-S-S/Mux-T

Deviatore
radiocomandato

m Ricevitori DVB-T

Antenna III B
Ricezione esterna

m Modulatori DVB-T

DVB-T

Ricevitore DVB-T
per visione comune

Schermo televisivo

Rai

Distribuzione BF agli
schermi delle carrozze

Distribuzione alle
carrozze

Amplificatore per
diffusione interno carrozze

Antenna III B
Diffusione interna

DVB-T

TRENO

GALLERIA

Radiocomendo
attivazione deviatore

Imbocco

Interno

DVB-T

n Ricevitori DVB-S
Convertitori Mux-S-S/Mux-T
m Modulatori DVB-T

Distribuzione e
diffusione in
galleria

Cavi fessurati
diffusione
in galleria

Fig. 3 - Schema dettagliato della distribuzione del segnale DVB-T in galleria e commutazione del segnale.

DVB-T [2, 3] mediante un trasmettitore a bassissima potenza (banda III) (figura 2). Quando il treno si trova a transitare in campo libero i programmi televisivi sono ricevuti dal satellite da n transponder e riposizionati su m blocchi DVB-T (nell'ipotesi di partenza ***n***=8, ***m***=8).

In galleria la continuità di trasmissione a bordo treno verrebbe garantita da una ritrasmissione dello stesso segnale con la medesima modalità DVB-T in cavo radiante (fessurato); gli spezzoni di cavo radiante (di circa 550+550 m) sono alimentati amplificando un segnale distribuito su fibra ottica generato all'imbocco della stessa.

In prossimità della galleria, in ingresso ed in uscita, un radiocomando di prossimità fornirebbe il comando di passaggio dalla modalità satellite alla modalità galleria e viceversa. In figura 3 è rappresentato lo schema funzionale degli apparati.

4.3 Aspetti realizzativi e criticità

Segue una rassegna dei potenziali problemi e implicazioni relativi alla realizzazione.

4.3.1 Downlink satellite

La tecnologia DVB-S appare un'ottima candidata. Tuttavia esistono criticità relative ai seguenti aspetti:

- **Antenna**: è richiesto un sofisticato sistema d'antenna con puntamento e inseguimento (*tracking)* automatico. Tecnicamente il problema è già stato affrontato ed è disponibile un prodotto già collaudato. Per quanto riguarda la singola antenna (come si vedrà, in realtà risulterebbe necessaria una coppia di antenne per ogni treno), la criticità è relativa alla sistemazione meccanica e al costo.
- **Effetto Doppler**: l'antenna richiesta è sufficientemente direttiva da escludere la presenza di *multipath* (riflessioni da ostacoli) con effetto Doppler. L'effetto Doppler presente è relativo al solo segnale diretto, per il movimento reciproco tra satellite e treno. Nell'analisi eseguita nel progetto FIFTH è considerato l'utilizzo di un sistema di compensazione per l'effetto Doppler.
- **Blocking e Shadowing:** dovuto a ostacoli: anche su questi aspetti l'analisi fatta nel progetto FIFTH è approfondita e circostanziata da prove su campo. Un supplemento di prove di laboratorio è stato recentemente eseguito dal Centro Ricerche, per valutare qual'è la massima durata della microinterruzione tollerata dal sistema DVB-S [4], e l'influenza della frequenza di ripetizione dell'evento. I dettagli sono riportati in appendice A. In buona sostanza comunque si evince che l'estensione della microinterruzione è dell'ordine dei centimetri (con treno in corsa). Potenzialmente quindi ostacoli anche piccoli possono causare problemi.

Si conclude, in accordo con i risultati di FIFTH, che in assenza di ulteriori contromisure la (singola) ricezione satellite non è in grado di garantire il servizio in presenza di microinterruzioni dovute ai tralicci che sostengono la linea di alimentazione. Altri tipi di ostacoli (alberi, pali, ponti, …), per quanto più sporadici, causano analoghe microinterruzioni.

Le contromisure includono:

1. **Diversity di spazio**: occorrono due antenne e relativi ricevitori: i segnali ottenuti vengono commutati (sistema più semplice) o combinati (più complicato perché richiede la messa in fase dei segnali, che potrebbe risultare critica) per ottenere un segnale ridondato. La protezione ottenibile è tanto maggiore (in termini di estensione della zona d'ombra) quanto più distanti sono le due antenne. Le possibilità sono:
    - Antenne montate sullo stesso vagone (es. motrice di testa): la protezione ottenibile è un po' inferiore, in quanto ponti larghi (e ostacoli simili) possono mettere in ombra entrambe le antenne contemporaneamente, ma il cablaggio risulta molto semplificato.
    - Antenne montate su carrozze distanti (ad esempio, le due motrici, di testa e di coda): in questo caso la protezione è più elevata, ma il cablaggio si complica molto in quanto i segnali ricevuti devono essere convogliati in un unico punto per effettuare la commutazione e da qui la successiva distribuzione.

2. **Diversity di tempo**: Questo approccio non consente la compatibilità con il segnale DVB/S ed è analizzato nella sezione 5.

3. **Interleaving di tempo**: consiste nell'inserire un buffer di dati (*time deinterleaver*) sufficientemente grande: l'interruzione causa la perdita di dati, ma se i dati persi sono una percentuale ragionevolmente piccola di quelli contenuti nel buffer, un potente codice a correzione d'errore può recuperare i dati persi. Purtroppo questo metodo richiede un buffer gemello e inverso in trasmissione ("time interleaver") e ciò non è fattibile, se come requisito si richiede che l'head-end di trasmissione sia standard DVB/S, come quello TivùSat. Un approccio basato sull'uso della combinazione Time Interleaver e Upper Layer FEC, possibile adottando lo standard DVB/H, è analizzato nella sezione 6.

Fra le contromisure indicate, e adottando l'architettura di riferimento precedentemente esposta, l'unica possibile è la **diversity di spazio** (antenna diversity), purtroppo caratterizzata da un elevato costo.

4.3.2 Galleria (installazioni fisse)

Cavo fessurato

Le gallerie sono attualmente già allestite con una distribuzione del segnale RF del servizio GSM-R, tramite cavo fessurato. L'assunzione che tale cavo possa operare anche sulle bande televisive è ragionevole, sebbene sia da verificare, poiché dipende dal tipo di cavo posato.

La banda di frequenza candidata alla diffusione in galleria è la Banda III (174-230 MHz). Questa scelta è ragionevole, per minimizzare l'effetto Doppler.

Il segnale è distribuito in segmenti da 1100 m di cavo, alimentato al centro di ciascun segmento. Questa configurazione permette di ottenere una limitata attenuazione del segnale. Secondo stime ragionevoli l'attenuazione del cavo su 550 m si aggira intorno ai 7 dB, alle frequenze considerate. Di conseguenza, con il ricevitore in movimento, si può stimare una fluttuazione del livello del segnale di soli 7 dB. La ricezione in queste condizioni è stata analizzata nel corso del progetto FIFTH, traendo la conclusione che l'effetto Doppler è assente in quanto la ricezione è perpendicolare alla direzione del moto. In realtà il ricevitore raccoglie un'onda che si propaga sul cavo con una velocità che si somma/sottrae a quella del treno, quindi lo *shift* dovuto all'effetto Doppler è presente. In appendice A sono riportati procedura e risultati di test di laboratorio eseguiti per approfondire questo aspetto.

Fibra ottica

La distribuzione in galleria degli m blocchi DVB-T richiede, in alternativa:

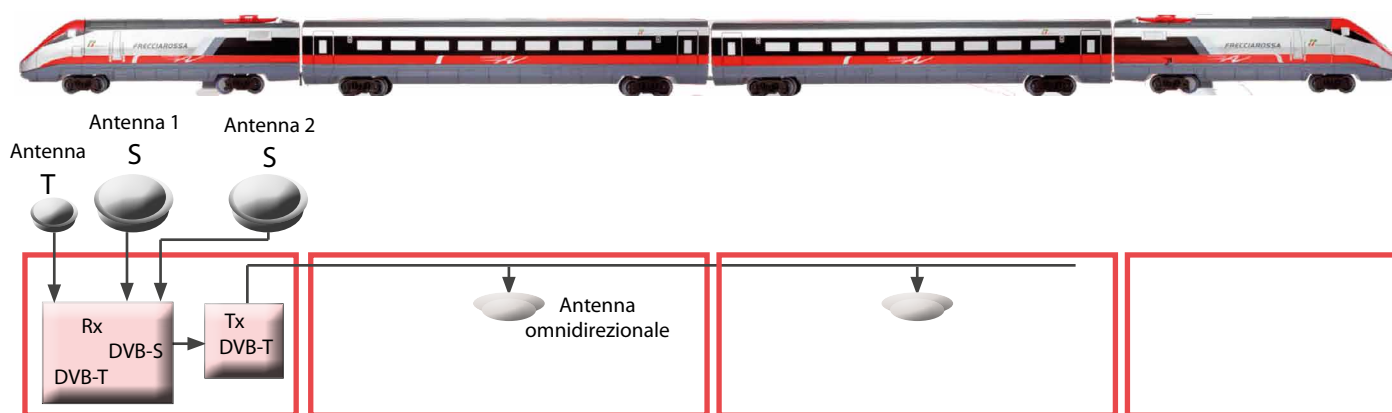



Fig. 4 - Distribuzione del segnale DVB/T a bordo treno utilizzando un cavo coassiale dedicato.

- un unico insieme di ***m*** modulatori DVB-T all'ingresso della galleria, quindi una distribuzione del segnale (banda III) su fibra ottica "analogica", dedicata esclusivamente a questo servizio,

oppure

- la distribuzione del *bitstream* completo ottenuto dalla ricezione satellite, su fibra "digitale", in eventuale condivisione con altri servizi, ai vari punti di alimentazione dei cavi fessurati. In questa ipotesi è necessaria, in ciascun punto,una batteria di m modulatori DVB-T. Se si opera questa scelta, dunque, si può risparmiare sulla fibra, ma i costi si moltiplicano a causa del numero di apparati installati.

Distribuzione a bordo del treno

Il segnale ricevuto (da satellite o da rete terrestre se in galleria), deve essere distribuito agli utenti, dotati di ricevitori DVB-T.

Nell'ipotesi che sia presente un cavo coassiale dedicato, posato per la lunghezza del treno, accessibile su ogni carrozza, la situazione è quella indicata in figura 4.

Il suddetto cavo viene utilizzato per distribuire il segnale fornito dal Tx DVB-T ad opportune antenne omnidirezionali posizionate sulle carrozze.

Nel caso in cui non sia previsto/possibile un cablaggio, si potrà considerare l'allestimento mostrato in figura 5.

La struttura è sostanzialmente una serie di *gap-filler* in cascata. E' importante massimizzare la distanza $d_{TX\text{-}RX}$ tra l'antenna che riceve dal vagone precedente e l'antenna che trasmette verso gli utenti, come schematizzato in figura. Il segnale si degrada all'aumentare del numero dei *gap-filler*, tuttavia una struttura di questo tipo ha il vantaggio di non richiedere interconnessioni tra vagoni.

Da notare che il singolo vagone non deve essere "ruotato di 180 gradi".

5. Approccio "Time-Diversity"

L'idea base è quella proposta nel progetto FIFTH, ovvero permettere la copertura nelle gallerie tramite la doppia trasmissione del segnale con il medesimo ritardato di, ad esempio, 10 minuti.

5.1 Requisiti del servizio

Con questo approccio si perde la compatibilità con il segnale già presente su satellite (TivùSat). E' necessario dunque utilizzare un transponder dedicato, e questo comporta alti costi annui di utilizzo. I costi possono essere ridotti se si utilizza solo una parte

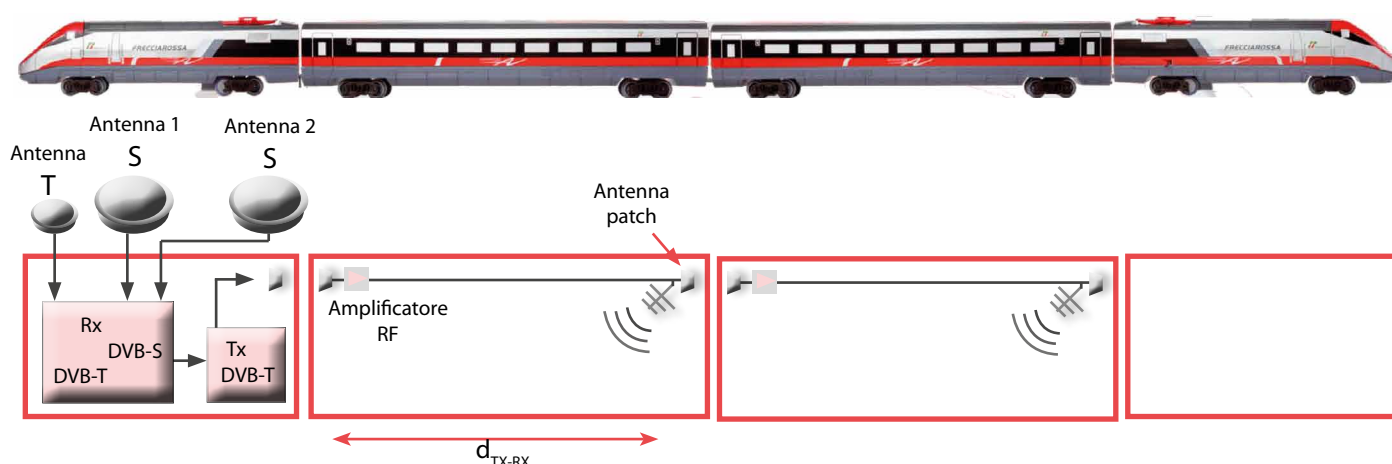



Fig. 5 - Distribuzione del segnale DVB/T a bordo treno, cavo coassiale dedicato non presente.

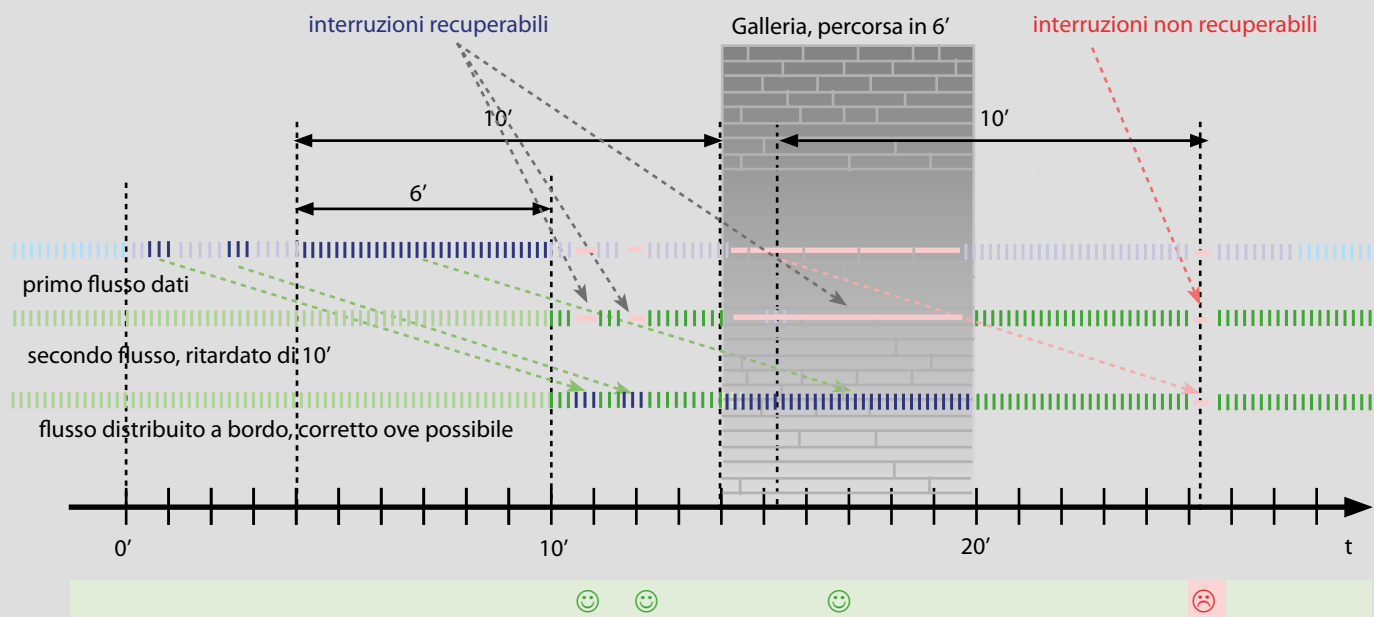



Fig. 6 - Schema di funzionamento dell'approccio Time Diversity. Il flusso dei dati è trasmesso dal satellite due volte: il secondo flusso, ritardato nell'esempio di 10 minuti, è quello distribuito, in condizioni normali, a bordo del treno. In caso di interruzioni (ostacoli brevi o gallerie più o meno lunghe) si utilizzano i dati ricevuti precedentemente, trasmessi con il primo flusso e memorizzati in un buffer. In questo esempio alcune interruzioni occasionali (prima della galleria) causano errori recuperabili grazie ai dati presenti nel buffer, lo stesso accade per la mancanza di segnale durante il percorso in galleria, nell'esempio dura 6 minuti, mentre l'interruzione successiva, seppur breve, non può essere corretta poichè non può essere sostituito con il segnale relativo al primo flusso dati, mancante a causa della galleria.

della capacità. Quindi l'offerta di programmi impatta direttamente sul costo. La qualità video inoltre è legata alla capacità del canale e quindi al costo. E' evidente l'importanza della decisione se distribuire, ad esempio, un segnale a 0,5 Mbit/s piuttosto che un segnale a 5 Mbit/s.

5.2 Architettura di riferimento

Vengono trasmessi, come già accennato, due flussi gemelli ma sfalsati di un certo tempo, supponiamo di 10 minuti. A bordo del treno il segnale fornito all'utente è quello ritardato.

In caso di interruzioni (ostacoli brevi o anche gallerie più o meno lunghe) nel buffer di ricezione è comunque presente la replica sfalsata del segnale che permette di ovviare alla mancanza di dati. Chiaramente il limite di funzionamento è di gallerie percorse in meno di 10 minuti, in caso contrario viene a mancare anche la **diversity temporale**.

In figura 6 sono evidenziati i casi di errori occasionali, di mancanza del segnale (durante il percorso in galleria), e di errori occasionali nella condizione in cui il segnale di *back-up* sia mancante perché, nell'esempio, una precedente galleria lo ha corrotto.

5.3 Aspetti realizzativi e criticità

Questa soluzione richiede, come già detto, un transponder dedicato.

Poiché prevede la trasmissione di programmi codificati ad-hoc[Nota 1], occorre tenere conto di ***N*** encoder e del multiplexer. Non avendo altri vincoli è però

Nota 1- Prelevare programmi già codificati per altri mux, in modo da risparmiare sul costo degli encoder non è consigliabile in quanto, normalmente, i mux sono statistici; estrarre e affasciare programmi provenienti da mux diversi comporta un bit rate con fluttuazioni fuori controllo (a meno di non usare soluzioni tipo *Cherry Picker*, molto costose).

possibile e utile orientarsi verso schemi di modulazione più efficienti rispetto a quelli previsti da DVB-S, come quelli previsti da DVB-S2 [5].

Come accennato del paragrafo precedente questo metodo soffre di una sorta di "effetto memoria" nei minuti successivi alle gallerie (e comunque a qualsiasi tipo di ostacolo). Inoltre, come analizzato in precedenza, lungo la linea ferroviaria sono presenti i tralicci di sostegno dei cavi di alimentazione che provocano delle microinterruzioni del segnale che costituiscono circa lo 0,3% del tempo totale. Di conseguenza, in un percorso privo di gallerie è alquanto improbabile che, a distanza di 10 minuti, entrambi i segnali siano corrotti simultaneamente. Ne consegue che in questo caso la diversity temporale è efficace. Invece, in presenza di gallerie viene a mancare il segnale di *backup* e di conseguenza:

- in galleria resta il solo segnale ritardato, periodicamente corrotto dalla presenza delle microinterruzioni;
- nei minuti successivi all'uscita dalla galleria viene a mancare il segnale di *backup*, e quello ricevuto è periodicamente corrotto dalla presenza delle microinterruzioni.

Da quanto detto ne consegue che per garantire un servizio privo di malfunzionamenti così evidenti è necessaria la soluzione di **diversity spaziale** (antenna diversity).

Downlink satellite

Vale quanto già detto per la soluzione precedente, ma in questo caso, come accennato qui sopra, occorre l'antenna diversity.

Galleria

Vista la soluzione adottata non è più necessaria alcuna installazione per le gallerie.

Distribuzione a bordo del treno

Vale quanto già detto per la soluzione precedente.

6. Ulteriori approcci

La soluzione con antenna diversity, proposta per la ricezione DVB-S/S2 in presenza di microinterruzioni, è perfettamente funzionante dal punto di vista tecnico, ma risulta molto costosa in quanto su ogni treno il numero degli apparati di ricezione da satellite risulta praticamente raddoppiato.

Sono concepibili soluzioni alternative anche basate su standard consolidati.

6.1 Modulazioni con Time Interleaver

Rimanendo nel novero degli standard già assestati appartenenti alla famiglia DVB, le possibilità sono due: DVB-H [6-8] e DVB-T2 [9-12]. Le implicazioni del loro utilizzo sono le seguenti:

- entrambi gli standard non sono concepiti per la trasmissione su satellite. Dunque:
  - la banda del segnale è compatibile con la canalizzazione terrestre (tipicamente 8 MHz). Su trasponder satellitare per avere capacità adeguata occorre inserire tre di questi segnali. Quindi il transponder deve essere usato in modo SCPC (N segnali affiancati sullo stesso transponder), e con un certo *back-off* aggiuntivo (5 dB può essere un valore indicativo, da ottimizzare). Questo valore erode della stessa quantità il margine di ricezione.
- il DVB-T2 ha prestazioni migliori rispetto al DVB-H, grazie ai codici LDPC, quindi è più indicato per recuperare il margine eroso dal *back-off*.
- entrambi gli standard sono dotati di *time-interleaver* (Nota: Nel caso DVB-H, in realtà, si tratta di un FEC particolare con buffer di grandi dimensioni) capace di assorbire microinterruzioni di durata di molte decine di ms. Quindi sono più che adeguati per sopportare gli effetti dei traliccetti e altri brevi ostacoli, anche a velocità più basse.
- apparati sono già disponibili commercialmente.

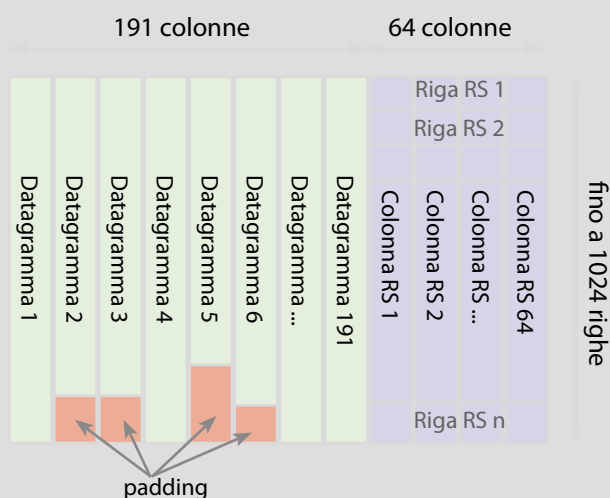



Fig. 7 - MPE-FEC nel DVB-H. E' un codice correttore di errori a livello di protocollo IP che viene aggiunto allo scopo di migliorare la ricezione qualora il rapporto segnale/rumore C/N al ricevitore sia basso. Si noti che l'utilizzo di MPE-FEC è opzionale, cioè, la mancata implementazione della sua specifica nei terminali non pregiudica la possibilità di ricevere i dati correttamente (i pacchetti dati sono separati dai pacchetti di ridondanza con il FEC). Nelle situazioni in cui ci sia un'elevata perdita di pacchetti, possono essere introdotti pacchetti di ridondanza che permettono attraverso un algoritmo di interleaving e di protezione basato sul codice Reed Solomon (255, 191, 64): 255 sono i byte totali, di cui 191 sono i dati relativi all'informazione utile e 64 i byte di parità per la protezione dagli errori. DVB-H prevede diversi livelli di protezione: quanto più essi sono efficaci in termini di protezione ai disturbi tanto più basso è il bit rate utile e di conseguenza il numero di programmi trasmissibili. Come si vede, per creare i byte di ridondanza Reed Solomon, i pacchetti di dati vengono disposti lungo le colonne della tabella, uno di seguito all'altro. Se tutte le colonne di dati e tutte le colonne di FEC vengono riempite, si ottiene una ridondanza del 25% circa (con un *code rate* di ¾). Se al posto delle ultime colonne di dati vengono inseriti dei byte fittizi (*padding*) si ottiene praticamente un aumento della ridondanza (in quanto il *padding* non viene trasmesso e il codice di correzione lavora quindi su un numero minore di dati). È utile notare che la tabella descritta ha un numero massimo di 1024 righe, il ché limita la grandezza massima della tabella di MPE-FEC a 2 Mbit circa. Un controllo di parità aggiuntivo CRC-32 permette di rilevare se i dati ricevuti sono affetti o meno da errori residui.

6.2 Approccio "Upper Layer FEC"

La tecnica alternativa analizzata in questa sezio-consiste nell'introduzione di un Time Interleaver e relativo *Upper Layer FEC*.

L'aspetto fondamentale delle microinterruzioni è che il *duty cycle* risulta particolarmente basso (2 ms di interruzione, e quindi di bit errati, a fronte di 600 ms di segnale corretto, ovvero circa lo 0,3%). Nell'ipotesi di prima approssimazione in cui il ricevitore dia origine ad un *burst* di errori in uscita di durata paragonabile, il tasso di errore medio risulta essere a questo livello dell'ordine di 10^{-3}, che un decodficatore FEC può facilmente recuperare. Poiché tali decodificatori funzionano bene se gli errori presenti nel flusso dati al loro ingresso non sono a *burst*, ma risultano distribuiti nel tempo, è necessario inserire anche un ***Time Interleaving***.

Per minimizzare i costi:

- è desiderabile utilizzare la trasmissione via satellite utilizzando (quindi pagando) solo una parte della capacità del transponder;
- è indispensabile riutilizzare tecnologie già disponibili, quindi l'analisi è orientata agli standard che già mettono a disposizione le caratteristiche sopra citate, riducendo così i tempi entro cui gli apparati sono disponibili;
- utilizzare dei bit rate moderati (ad esempio 500 kbit/s per programma, sufficiente per ottenere una buona qualità video su schermi di 10"-15", utilizzando una codifica AVC)

Il primo punto suggerisce di utilizzare la modulazione DVB-S.

Per quanto riguarda il secondo punto di tutti gli standard della famiglia DVB l'unico che prevede un *Upper Layer FEC* separabile dal modulatore è il DVB-H [6-8]. Tale standard prevede un incapsulatore IP su TS che introduce un *FEC/Interleaver* chiamato MPE-FEC che permette di fornire maggiore protezione in caso di trasmissione difficoltosa (figura 7).

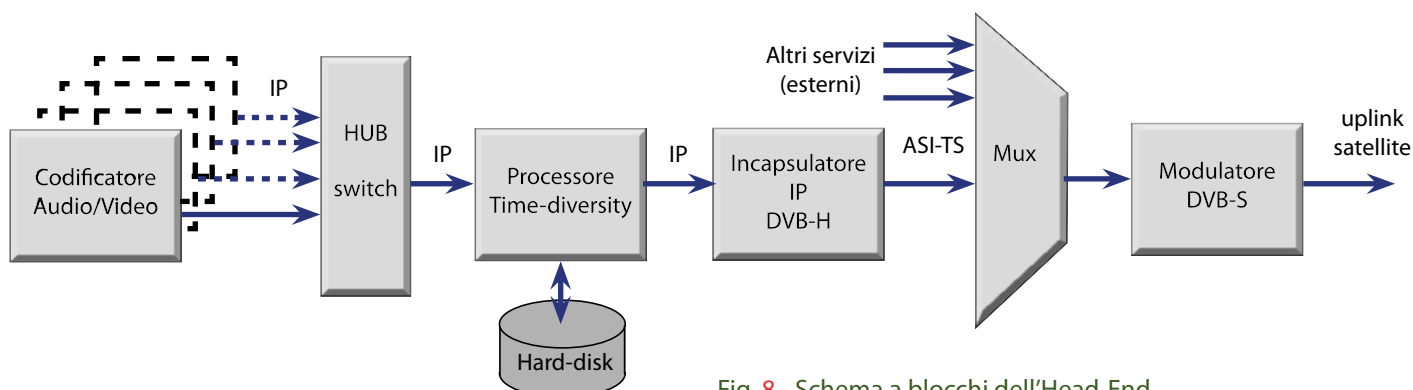



Fig. 8 - Schema a blocchi dell'Head-End.

6.2.1 Aspetti realizzativi e criticità

Head-End

Lo schema a blocchi di riferimento è quello di figura 8.

Ciascun programma necessita di un encoder A/V. Essendo quella analizzata una soluzione svincolata da piattaforme precedentemente esistenti è ipotizzabile utilizzare codifiche avanzate (ad esempio AVC) per ottenere un'efficienza maggiore e riuscire così a "comprimere" i programmi previsti in un bit rate minore risparmiando così sul costo del satellite.

Ciascun encoder, visti i bassi bit rate ipotizzati per questa soluzione, può essere un server con un apposito software di codifica: il costo è quindi inferiore ad un encoder hardware.

Il *Time Division Processor* è una macchina basata su software che permette di produrre per ogni programma in ingresso la sua copia ritardata.

Il *DVB-H IP Encapsulator* è una macchina commercialmente reperibile che inserisce a livello di ogni singolo programma l'Upper Layer FEC secondo lo standard DVB-H. L'uscita è un ASI-TS che può essere multiplexata con altri servizi esterni in modo da ridurre le spese del satellite.

L'uscita del multiplexer va al modulatore DVB-S per generare il segnale per l'up link.

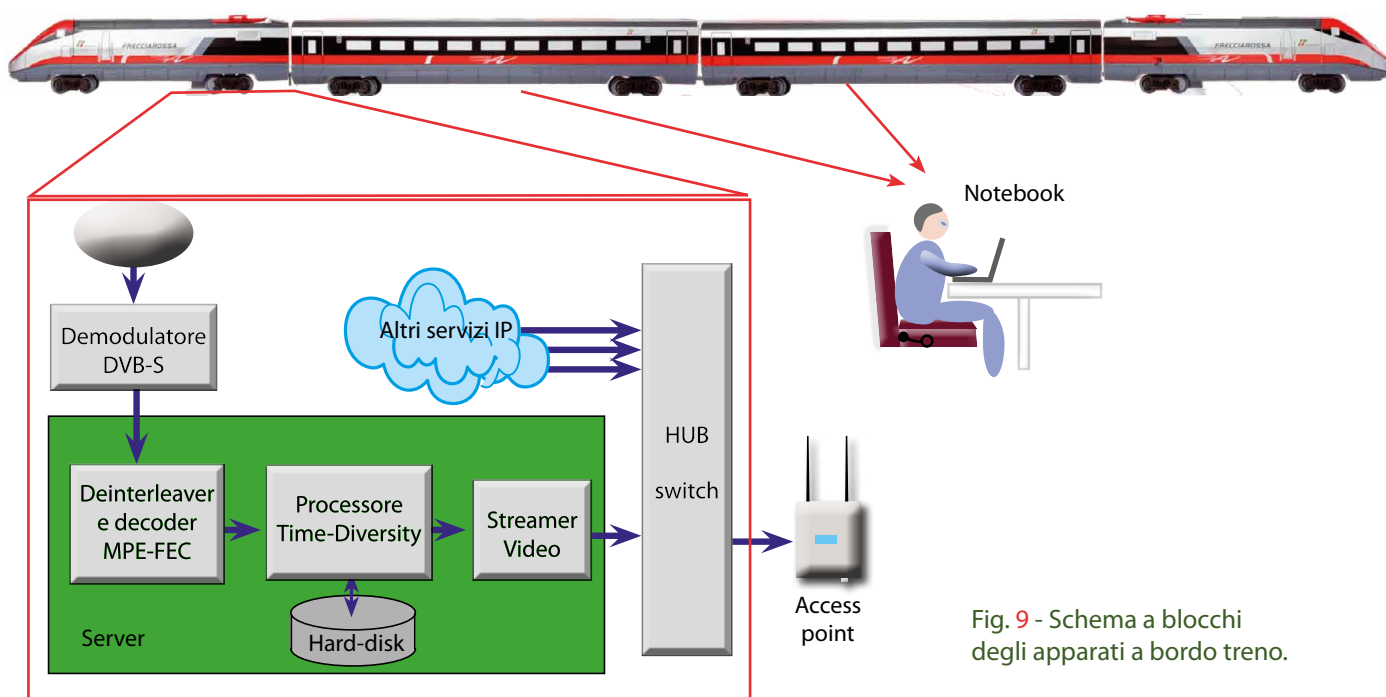



Fig. 9 - Schema a blocchi degli apparati a bordo treno.

Downlink satellite

Valgono le considerazioni riportate nella sezione 4.3.1. Per quanto riguarda il ***Blocking e Shadowing*** dovuto a ostacoli, l'Upper Layer FEC permette di andare ben oltre il valore di 20 µs per la massima durata dell'interruzione valutato nell'ambito delle prove riportate in Appendice A.

Distribuzione a bordo del treno

Per ridurre i costi, una alternativa alla distribuzione DVB-T precedentemente analizzata, si può ipotizzare che gli utenti siano dotati di terminale con connessione WiFi (notebook, netbook, tablet) e quindi prevedere di utilizzare la distribuzione WiFi, già prevista sui treni di prossima realizzazione.

Lo schema a blocchi degli apparati a bordo treno è quello indicato in figura 9.

Il segnale da satellite è ricevuto mediante antenna motorizzata dotata di puntamento e tracking automatico. Il TS deve essere opportunamente processato mediante un apparato basato su computer che dovrà occuparsi di:

- operare il deinterleaver ed MPE-FEC;
- ricostruire le parti di segnali corrotte mediante il meccanismo della doppia trasmissione;
- rendere disponibili i programmi così ottenuti, in streaming.

Il flusso IP può essere mandato all'Access Point già presente sul treno insieme all'altro traffico IP per la trasmissione WiFi nelle carrozze.

Prove di laboratorio

Sono riportate in appendice B.

6.3 Alternativa minimalista

Un approccio di ripiego è quello di fornire all'utente un numero ridottissimo di programmi *live* e integrare l'offerta con materiale registrato su un video server posizionato a bordo del treno.

Tuttavia l'obiettivo inderogabile di offrire programmi live preclude questa possibilità.

7. Conclusioni

Lo studio ha analizzato diversi approcci per consentire la distribuzione dei programmi di TV digitale a bordo dei treni ad alta velocità.

Utilizzando per la distribuzione via satellite lo standard DVB-S si è visto che la durata massima delle microinterruzioni non deve eccedere i 20 µs; la durata stimata delle microinterruzioni dovute ai traliccetti è di 2 ms (100 volte superiore rispetto a quanto ottenibile con il DVB-S). Utilizzando lo standard DVB-S2 si ottengono dei risultati migliori ma non ancora sufficienti per garantire una buona copertura con ricezione a singola antenna.

I primi due approcci descritti (sezioni 4 e 5) sono basati sulla ricezione satellitare e richiedono l'adozione dell'antenna diversity (due antenne riceventi), la rimodulazione e la trasmissione DVB-T attraverso cavo fessurato lungo le gallerie. Sono quindi caratterizzati da elevati costi di investimento.

Benché questo sia un documento tecnico, alcune scelte, per quanto tecnologicamente interessanti e con buone probabilità di successo, potrebbero compromettere la fattibilità del progetto a causa dei costi e della loro distribuzione nel tempo. Nello specifico per avere il servizio su una tratta (ad esempio Roma-Milano-Torino) è indispensabile coprire tutte le gallerie e questo richiede un investimento immediato.

L'allestimento dei treni per quanto possa essere in parte diluito nel tempo è anche suscettibile di semplificazioni e conseguenti riduzione di costi.

Per ridurre i costi, pur risolvendo il problema delle microinterruzioni, si è analizzata un'alternativa che consiste l'introduzione di in ***Time Interleaver*** e relativo ***Upper Layer FEC*** (sezione 6.2).

Questa alternativa può essere vantaggiosa dal punto di vista economico ed è stato quindi approfondito tramite alcuni test di laboratorio al fine di analizzare alcuni aspetti relativi all'efficacia del sistema in presenza di microinterruzioni.

In figura 10 sono schematizzati i principali vantaggi e svantaggi degli approcci considerati e di seguito

Approccio "Bouquet esistente"

- ☺ Riutilizzo dei Transponder TiVuSat
- ☺ Copertura a cielo aperto mediante antenna con tracking automatico
- ☺ Distribuzione in galleria mediante DVB-T: il segnale viene prelevato ad esterno galleria, modulato e diffuso su cavo fessurato
- ☹ Antenna: la soluzione a tracking automatico esiste in commercio ma è costosa
- ☹ Effetto Doppler, relativo al solo segnale diretto, per il movimento reciproco tra satellite e treno.
- ☹ *Blocking e Shadowing* dovuto a ostacoli: le prove di laboratorio dimostrano che ostacoli piccoli ma periodici possono causare problemi

Approccio "Time diversity"

- ☺ Vengono trasmessi due flussi gemelli sfalsati di un certo tempo, es. 10 minuti. A bordo del treno il segnale fornito all'utente è quello ritardato. In caso di interruzioni nel buffer di ricezione è comunque presente la replica sfalsata del segnale che permette di ovviare alla mancanza di dati.
- ☺ Non è necessario l'allestimento delle gallerie
- ☹ Interruzioni maggiori del tempo di ritardo non vengono recuperate.
- ☹ "Effetto memoria": degrada gravemente il servizio

- ☹ Soluzione a singola antenna non praticabile
- ☹ Antenna diversity: costo eccessivo

Approccio "UpperLayer FEC + Time-Diversity"

- ☺ Vengono trasmessi due flussi gemelli sfalsati di un certo tempo, es. 10 minuti.
- ☺ In caso di interruzioni nel buffer di ricezione è comunque presente la replica sfalsata del segnale che permette di ovviare alla mancanza di dati.
- ☺ Il segnale trasmesso viene protetto da un ulteriore layer superiore con FEC e time interleaving: in ricezione quindi le microinterruzioni da catenaria e ponti vengono sanate prima del diversity switch. Quest'ultimo si trova ad operare senza "effetto memoria".
- ☺ Non è necessario l'allestimento delle gallerie
- ☹ richiede (parte di) un transponder satellitare dedicato.

Fig. 10 - Principali vantaggi e svantaggi degli approcci considerati.

sono riassunti i principali vantaggi e svantaggi di questo approccio:

VANTAGGI:

- ☺ Non è necessario l'allestimento delle gallerie. Se si utilizzassero le soluzioni alternative sarebbe invece necessario allestire anche le gallerie più corte (ad esempio quelle di lunghezza inferiore ai 100 m) per evitare evidenti problemi al segnale video.
- ☺ La sosta in stazioni intermedie di durata inferiore ai 10 minuti viene gestita come per le gallerie. E' quindi possibile un risparmio per l'adeguamento delle stazioni al servizio.
- ☺ Non è necessaria la seconda antenna satellitare (e relativo commutatore a diversity) su ogni treno; questo riduce notevolmente i costi dell'hardware e relativa installazione. Il cablaggio è anche notevolmente semplificato, specialmente rispetto alla soluzione con le due antenne installate in testa e in coda del treno.
- ☺ Non è necessaria la componentistica trasmittente DVB-T a bordo, né l'utilizzo di chiavette per la ricezione, grazie all'approccio WiFi, che già sarà presente sui treni per l'accesso a Internet. Tra l'altro questo approccio permette una migliore e più semplice integrazione dei servizi Radio-TV in streaming all'interno di un "portalino" a cui l'utente a bordo del treno si può connettere come interfaccia verso l'esterno. Della capacità del WiFi (ad esempio 54 Mbit/s) una quota corrispondente alla banda massima di accesso internet (8 Mbit/s, come ipotesi) potrebbe essere utilizzata in esclusiva per l'accesso a Internet (prevedendo un firewall per bloccare streaming da siti esterni) rendendo disponibile la restante capacità per lo streaming di bordo (TV e contenuti video locali).

SVANTAGGI

☹ E' necessario (parte di) un transponder satellitare dedicato. Il costo potrebbe essere mitigato con i seguenti espedienti:

- utilizzando satelliti "poco pregiati", quelli che non si trovano sulle posizioni orbitali più utilizzate (13 e 19.2 Est).
- utilizzando solo parte della capacità (parte del MUX digitale), in coesistenza con altri servizi/utenti. Ciò grazie al fatto che si usa la modulazione (DVB-S) e i parametri più diffusi per il servizio satellitare.

☹ E' necessario un HeadEnd apposito. Tuttavia è ipotizzabile utilizzare codifiche avanzate (AVC) per ottenere un'efficienza maggiore e riuscire così a "comprimere" i programmi previsti in un bit rate minore risparmiando così sul costo del satellite. Ciascun encoder dunque può essere un server con un apposito software di codifica: il costo è quindi inferiore ad un encoder hardware.

Lo studio realizzato ha consentito di verificare la fattibilità tecnologica, di stimare i costi e di individuare le principali problematiche realizzative ed infrastrutturali.

I risultati dello studio hanno consentito inoltre di formulare una proposta di massima da sottoporre ai potenziali clienti sia in Italia che all'estero.

I riscontri ottenuti da parte dei potenziali clienti sono stati positivi anche se, sul mercato italiano, non è prevista un'applicazione nei prossimi due / tre anni.

Bibliografia

1. S. Scalise, R. Mura, M. Álvarez Díaz, G. Sciascia, FIFTH Deliverable D5, Link Design Document, I1 Project IST 2001 – 39097, (3/2003).
2. V. Mignone, A. Morello, M. Visintin, "Il sistema europeo per la Televisione Digitale Terrestre", Elettronica e Telecomunicazioni 1/2002.
3. ETS 300 744, "Digital broadcasting systems for television, sound and data services; framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", 1997.
4. ETSI EN 300 421, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services", V1.1.2, 1997.
5. ETSI TR 102 376, "Digital Video Broadcasting (DVB): User guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2) ", V1.1.1, 2005.
6. A.Bertella, P. Casagranda, D. Milanesio, M. Tabone, "Il sistema DVB-H per la TV Mobile", Elettronica e Telecomunicazioni, n. 3, dicembre 2005.
7. ETSI EN 302 304, "Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals", V1.1.1, 2004.
8. ETSI TR 102 377, "Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines", V1.2.1, 2005.
9. ETSI TR 102 831 "Digital Video Broadcasting DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)", V0.8.7, 2008.
10. V. Mignone, A. Morello, G. Russo, P. Talone, "DVB-T2: la nuova piattaforma di diffusione della TV digitale terrestre", Elettronica e Telecomunicazioni, n. 3, dicembre 2008.
11. A. Bertella, V. Mignone, B. Sacco, M. Tabone, "Il digitale terrestre di seconda generazione", Elettronica e Telecomunicazioni, n. 2, agosto 2009.
12. "Digital Video Broadcasting (DVB), BlueBook A122: Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)", Giugno 2008.

Appendice A

A1. Test preliminari di laboratorio

Si è inteso approfondire alcuni aspetti relativi alla ricezione del segnale satellite/terrestre in ambiente "difficile": in particolare l'effetto delle microinterruzioni dovute ai tralicci di alimentazione sulla ricezione satellitare, e l'effetto del Doppler shift in galleria sulla ricezione DVB-T.

A 1.1 Effetti delle microinterruzioni sulla ricezione DVB-S/DVB-S2

Nella figura A1 è rappresentata la tipica situazione a cui si deve fare fronte: le linee aeree di alimentazione del treno sono sospese a traliccetti metallici di 20 cm circa di sezione. La tipica campata è di 53 m, ma in curva e nelle zone ventose può essere più corta.

Alla velocità di 300 km/h i traliccetti provocano uno *shadowing/blocking* di durata dell'ordine di 2 ms.

Il periodo di ripetizione dell'evento è di circa 0,6 secondi. Chiaramente a velocità più basse la durata del *blocking* aumenterà di conseguenza, seppure con periodicità più rarefatta.

In figura A2 è riportata l'attenuazione risultante da transito sotto il traliccetto, come riportato nei documenti del progetto FIFTH. Come si può notare l'attenuazione sale a 15÷20 dB. Considerato che a cielo chiaro il margine di ricezione dovrebbe essere di circa 7 dB (come da dati forniti dai costruttori dell'antenna), il passaggio sotto il traliccetto si traduce in una interruzione del segnale ricevuto.

Scopo dell'indagine di laboratorio è verificare se tale interruzione ha come conseguenza un effetto evidente sull'immagine, e comunque determinare quale è la durata massima della microinterruzione che non causa problemi a video.

Per testare l'effetto delle microinterruzioni sul segnale satellitare, è stato utilizzato il banco in figura A3.

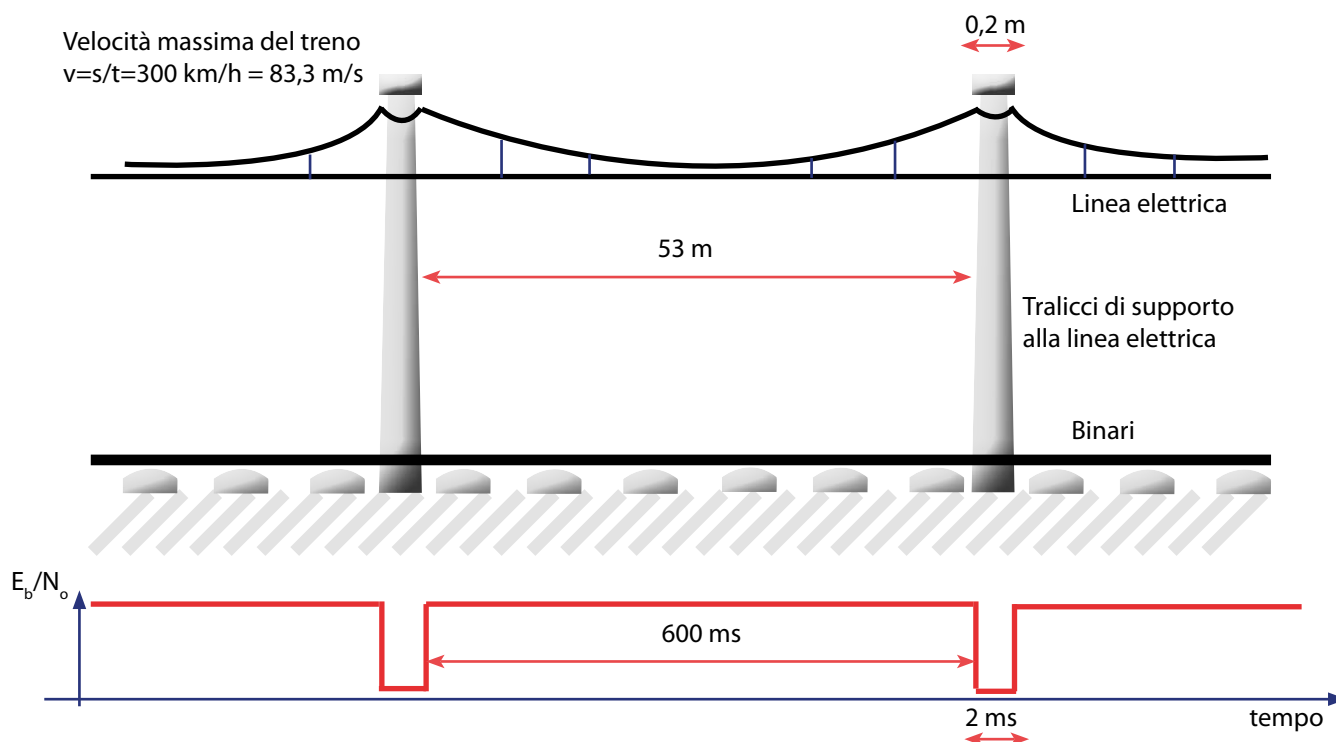



Fig. A1 - Microinterruzioni dovute ai traliccetti di supporto delle linee di alimentazione.

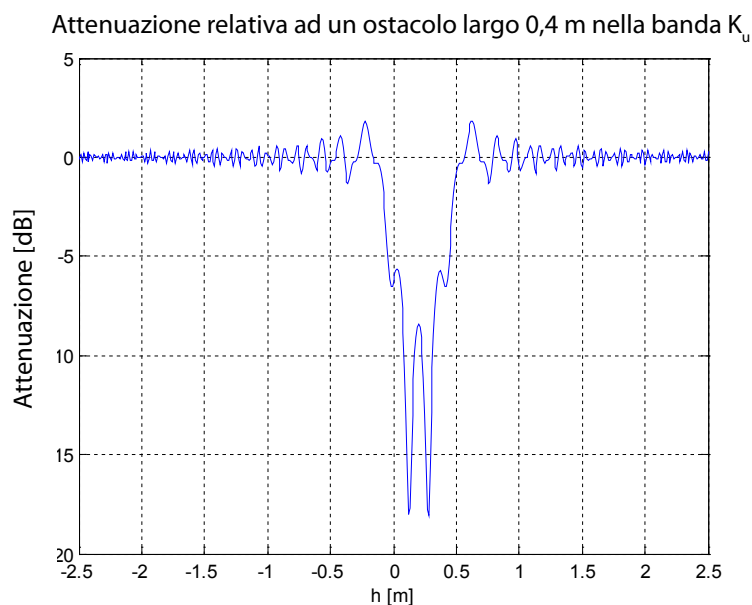



Fig. A2 - Attenuazione del segnale ricevuto da satellite durante il transito sotto i traliccetti. I valori miurati sono utilizzabili anche nel caso di ostacoli quali i traliccetti presi in considerazione nelle prove di laboratorio.

d
h
70 MHz
1 GHz
b
c
e
f
a
g

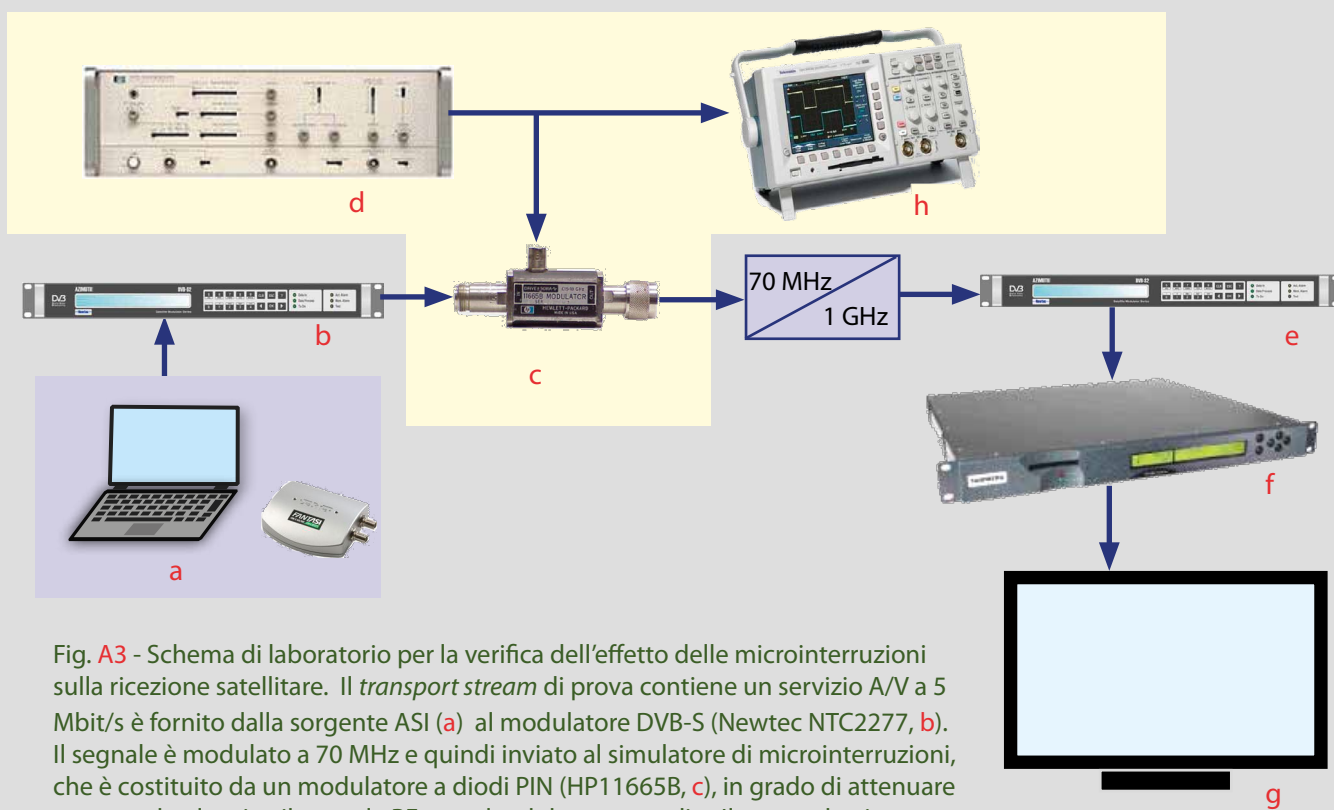



Fig. A3 - Schema di laboratorio per la verifica dell'effetto delle microinterruzioni sulla ricezione satellitare. Il *transport stream* di prova contiene un servizio A/V a 5 Mbit/s è fornito dalla sorgente ASI (a) al modulatore DVB-S (Newtec NTC2277, b). Il segnale è modulato a 70 MHz e quindi inviato al simulatore di microinterruzioni, che è costituito da un modulatore a diodi PIN (HP11665B, c), in grado di attenuare a comando elettrico il segnale RF, mandandolo sotto soglia. Il comando viene ottenuto da un generatore di impulsi (HP8007B, d) . I parametri dell'impulso sono completamente controllabili da pannello frontale. Il segnale così ottenuto è convertito in frequenza a 1 GHz ed inviato al ricevitore DVB-S/DVB-S2 (Newtec NTC2280, e). Il *transport stream* è inviato ad un decoder A/V (Tandberg RX1290, f); l'immagine è visibile su un monitor (g). Un oscilloscopio digitale (h) permette di visualizzare il segnale di controllo e quindi misurare i parametri dell'impulso.

Risultati delle prove: DVB-S

L'utilizzo del DVB-S è previsto nel caso in cui si voglia ricevere i segnali satellitari mediante la piattaforma TivùSat. In questo caso il bit rate utile dei transponder normalmente impiegati è di 33.79 Mbit/s dal momento che vengono utilizzati i seguenti parametri di modulazione:

- Symbol Rate= 27,5 Msymb/s
- Costellazione= QPSK
- FEC=2/3

Il modulatore è stato conseguentemente impostato nel medesimo modo e si è misurata qual'è la massima durata dell'interruzione tollerabile dal sistema senza dare origine a errori visibili a video. Come risultato si ha:

$$T_{interruzione} < 20\ \mu s$$

Si noti come la durata massima dell'interruzione sia 100 volte inferiore rispetto alla durata dell'interruzione dovuta ai traliccetti.

Risultati delle prove: DVB-S2

Nel caso in cui non si dovesse utilizzare la ricezione TivùSat, è possibile adottare modulazioni (standard o non) più efficienti: si è testato il caso DVB-S2.

Inoltre, giocando sul Symbol Rate, è possibile rendere il sistema più robusto, sacrificando la capacità.

- Symbol Rate= 5,2 Msymb/s
- ModCod= QPSK ; R=1/2
- R_u= 5 Mb/s

$$T_{interruzione} < 1\ ms$$

Si può estrapolare che, con un Symbol Rate dieci volte inferiore, R_s= 0,5 Msymb/s, e il medesimo ModCod, il massimo per $T_{interruzione}$ sia dieci volte superiore, quindi:

$$T_{interruzione} < 10\ ms$$

Ovviamente il bit rate utile sarà un decimo: R_u= 0,5 Mbit/s.

Si è inoltre constatato che il massimo $T_{interruzione}$ non dipende dal code rate adottato.

In particolare in R=1/2, a R_u=5 Mbit/s il FECframe dura

$$T_{FECframe}=64800*T_{bit}=64800/(2*5E6)= 6,5\ ms.$$

Con R=1/2, il FEC dovrebbe in teoria recuperare fino a circa 50% di bit errati, quindi fino a 6,5/2 = 3,25 ms.

Dato che al massimo $T_{interruzione}$ < 1 ms, si conclude che il FEC non lavora nelle condizioni ottimali. Si può ipotizzare che il motivo stia nel fatto che gli errori arrivano a *burst* (salve di errori), e il guadagno del codice risulti di conseguenza "saturato" già a bassi *code rates*.

A2 Effetti del Doppler shift nella ricezione DVB-T da linea fessurata

Come accennato, il segnale in galleria verrebbe diffuso utilizzando un cavo coassiale fessurato (già presente), che si comporta come sorgente distribuita di segnale RF. Per evitare perdite eccessive, il cavo è predisposto in doppi segmenti, 550+550 m, alimentati al centro. La situazione quindi è quella rappresentata in figura A4.

In basso è schematizzato il sistema di cavi, in alto il grafico che rappresenta l'andamento (normalizzato) del segnale ricevuto. Da dati preliminari comunicati a Rai Way, la fluttuazione di livello si aggirerebbe sui 7 dB. Il *Doppler shift*, come già accennato, dovrebbe essere caratterizzato da due valori, uno positivo e uno negativo, dovuti al verso discorde/concorde di propagazione dell'onda sul cavo rispetto al verso di movimento del treno.

Inoltre, in ogni singolo tratto (figura A5), il segnale ottenuto all'antenna ricevente è la sovrapposizione di infiniti contributi, ciascuno proveniente da un tratto infinitesimo di linea, e pesato in fase dal differente cammino ottico, e in ampiezza dalla differente attenuazione di tratta (distanza tra tratto di linea e antenna ricevente).

In buona sostanza, il contributo più robusto è quello più vicino, dunque perpendicolare alla linea. Un

certo intorno di tale punto fornisce ancora un contributo significativo, ma via via decrescente e poi trascurabile. Un modello raffinato prevederebbe quindi che il segnale ricevuto sia l'integrale di tutti i contributi, pesati in modulo e fase come sopra descritto. Allo scopo di semplificare i calcoli abbiamo invece considerato un modello approssimato, che riteniamo sufficientemente rappresentativo della realtà, in cui tutti i contributi sono concentrati in una sorgente di tipo puntiforme. Inoltre, si è approssimato il cammino ottico del segnale considerando il tratto AC come equivalente alla somma AB+BC. Se AB è grande (Rx lontano dal punto di alimentazione) questo è sicuramente una buona approssimazione. In caso contrario l'errore introdotto è, nel caso specifico in cui BC=2 m circa e λ=1,25 m, non eccessivo.

Il *Doppler shift* che ne risulta è dunque:

$$f_D = f_0 \cdot \frac{v \cdot \cos(\alpha)}{c} = \frac{f_0 \cdot v}{c} \cdot \cos(arctg(\frac{d}{v \cdot t}))$$

Dove: f_0 è la frequenza di trasmissione (220 MHz), v è la velocità del treno (300 km/h = 83 m/s), d=BC = 2 m, c è la velocità della luce ($3 \cdot 10^8$ m/s), t è il tempo.

Questo profilo di canale è stato generato con Matlab e il file caricato sul simulatore di canale.

Per testare l'effetto del Doppler shift sulla ricezione DVB-T in galleria, è stato utilizzato il banco di misura illustrato in figura A6.

Il risultato è riportato in figura A7, in cui è visibile lo spettrogramma del segnale, ovvero il diagramma relativo all'evoluzione temporale del contenuto spettrale del segnale.

E' facile notare che il segnale (portante non modulata, in questo caso), subisce una brusca variazione di frequenza, da circa +60 Hz a circa -60 Hz rispetto al valore nominale, nel momento in cui si simula il passaggio del treno a cavallo del punto di alimentazione dei due tronconi di cavo fessurato. Analogo

Fig. A4 - Andamento del segnale nel cavo coassiale fessurato in galleria.

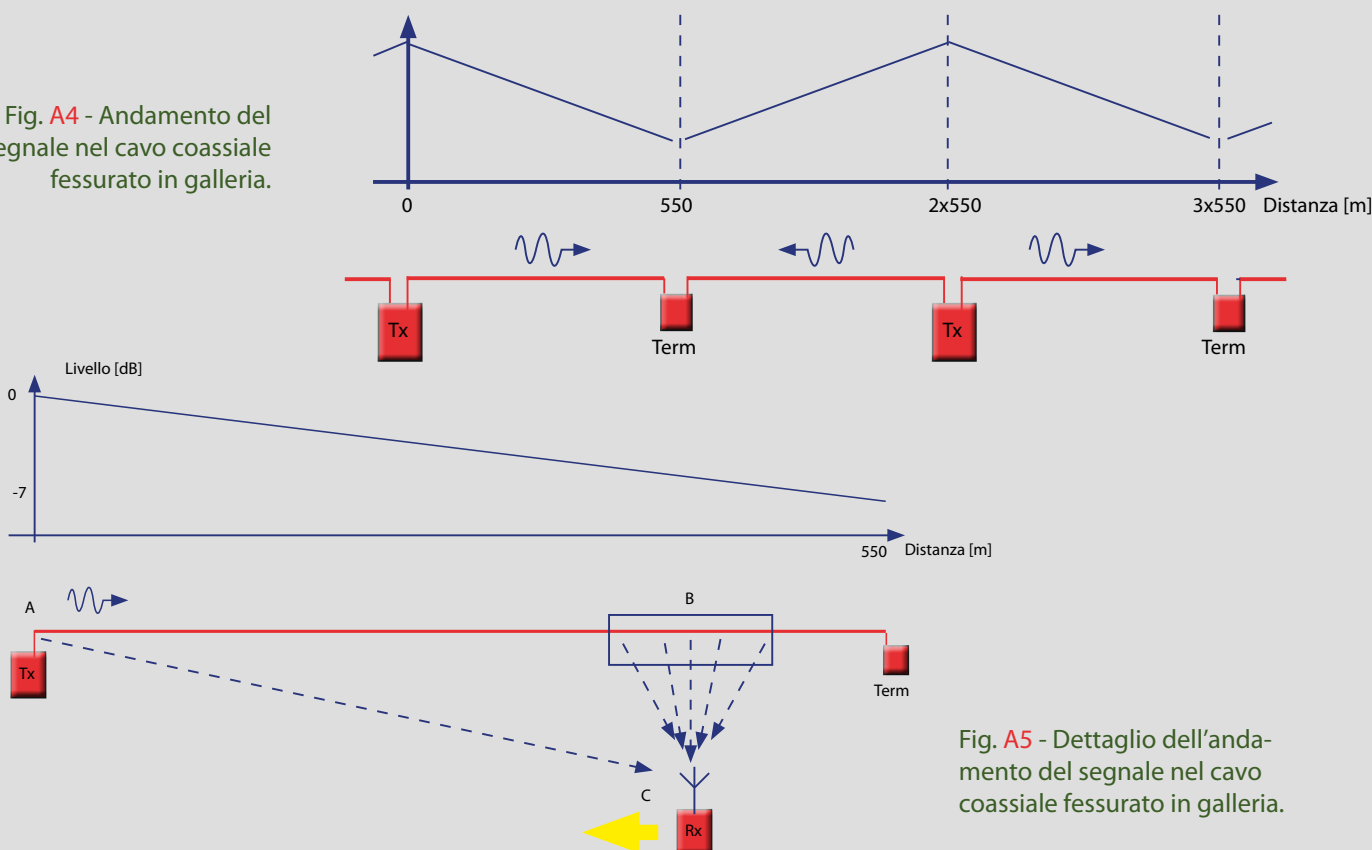



Fig. A5 - Dettaglio dell'andamento del segnale nel cavo coassiale fessurato in galleria.

comportamento (qui non visualizzato), con frequenze invertite, si ha nella transizione tra due tratti da 1100 m.

Il valore +/- 60Hz è il Doppler shift previsto, in banda III (230 MHz) a velocità di 240 km/h (massima velocità permessa al treno in galleria).

Avendo dunque validato il profilo di canale e il set-up di misura, si è proceduto alle prove vere e proprie. La modalità di esecuzione è stata la seguente:

- Impostare la modulazione desiderata, partendo da quella più robusta (QPSK, R=1/2, FFT=2k)
- Aggiungere rumore gaussiano bianco; decrementare il C/N fino a raggiungere la soglia di visibilità degli errori a video

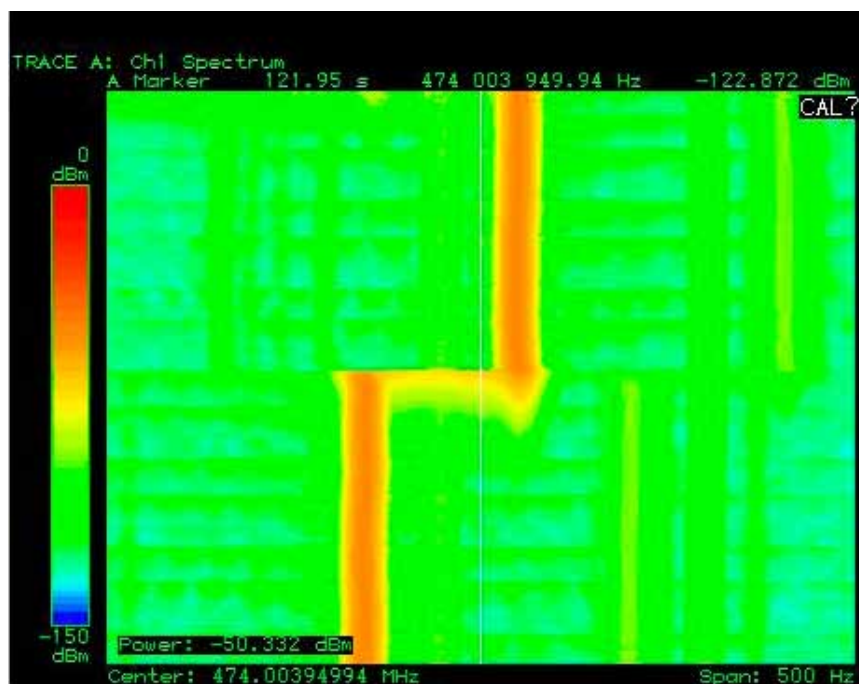



Fig. A7 - Spettrogramma del segnale *clean carrier* affetto da *Doppler shift*.In ascissa è la frequenza, in ordinata il tempo (in basso il più recente), e in scala di colori il livello, funzione di tempo e frequenza.

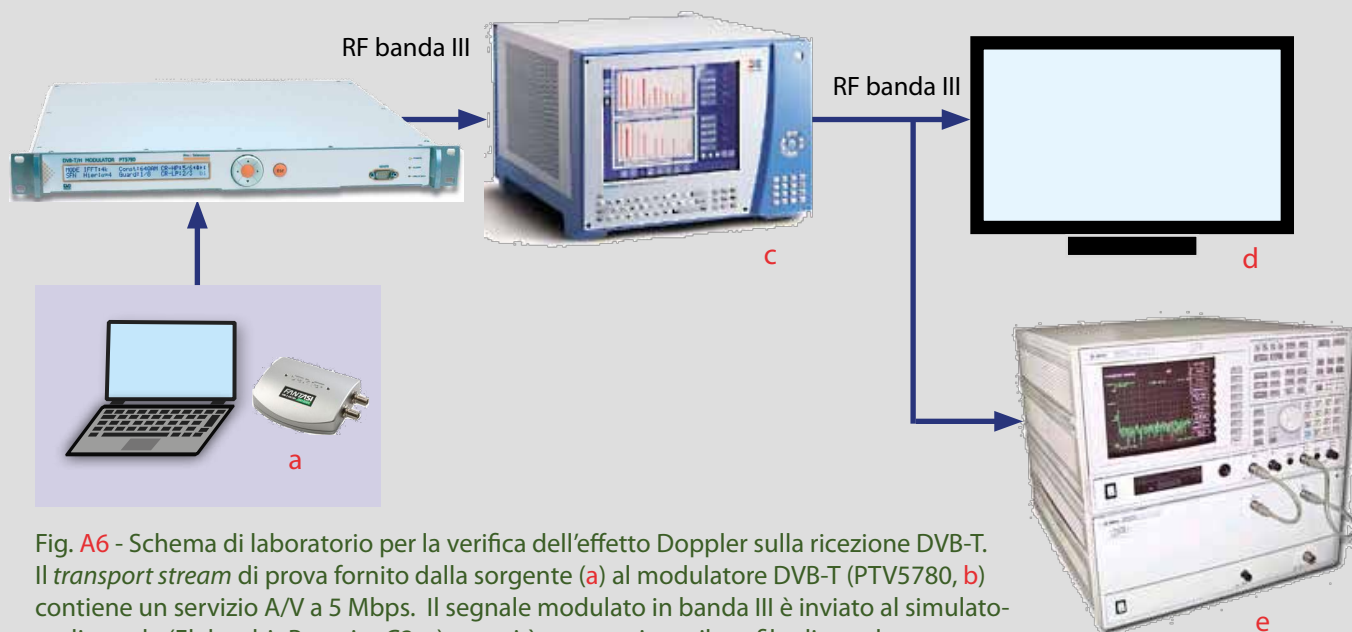
RF banda III

RF banda III

Fig. A6 - Schema di laboratorio per la verifica dell'effetto Doppler sulla ricezione DVB-T. Il *transport stream* di prova fornito dalla sorgente (a) al modulatore DVB-T (PTV5780, b) contiene un servizio A/V a 5 Mbps. Il segnale modulato in banda III è inviato al simulatore di canale (Elektrobit Propsim C2, c), su cui è stato caricato il profilo di canale ottenuto tramite simulazione Matlab. Il segnale così ottenuto, sempre in banda III, è ricevuto da un TV integrato DVB-T (d) .Prima delle prove, il set-up è validato togliendo modulazione sul Modulatore DVB-T (*clean carrier mod*)e) e visualizzando il segnale a valle del simulatore tramite un analizzatore di spettro vettoriale (HP89441, e).

- Incrementare il C/N così trovato di un valore predefinito di margine (1 dB)
- Attivare la simulazione di canale con Doppler
- Verificare corretta ricezione, specialmente nel momento di transizione (massimo Doppler)
- Passare alla prossima modulazione (ripetere test)

Risultati delle prove

il sistema di trasmissione DVB-T si è dimostrato insensibile alla transizione Doppler simulata, entro il margine previsto, non solo per i modi più robusti, ma anche per i modi meno indicati per la ricezione mobile.

Il *multipath fading* non è stato simulato. Tuttavia si può ritenere che le riflessioni provenienti dalle pareti della galleria e dal treno stesso diano contributo trascurabile rispetto al segnale diretto.

Appendice B

B1. Prove di laboratorio sulla catena DVB-H

Allo scopo di validare l'ipotesi presentata in questo articolo sono stati effettuati dei test di laboratorio utilizzando la catena DVB-H Nokia attualmente in uso presso il Centro Ricerche Rai.

Il set-up del banco di laboratorio è riportato in figura B1.

Purtroppo, a causa dell'utilizzo della catena DVB-H per altre sperimentazioni in corso presso il Centro Ricerche, non è stato possibile modificare i parametri del flusso TS generato dall'incapsulatore. Si è dovuto quindi impiegare un MPE-FEC con rate 5/6 e soprattutto non si è potuto escludere il *Time Slicing* che prevede la trasmissione a burst dei programmi allo scopo di risparmiare la batteria del terminale mobile (figura B2).

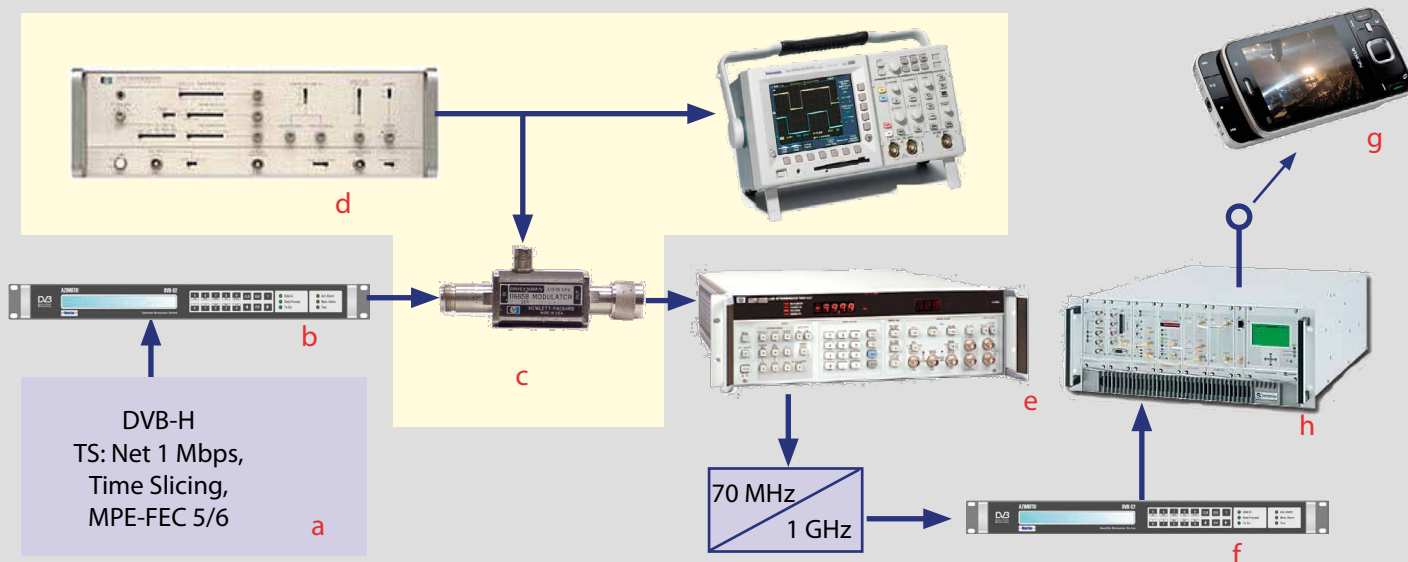



Fig. B1 - Schema a blocchi del banco di misura dei test di laboratorio. Il *transport stream* generato dalla catena DVB-H (a), che già include l'incapsulatore con Interleaver ed MPE-FEC, viene modulato mediante modulatore DVB-S (Newtec NTC2277,b) utilizzando la tipica configurazione impiegata per i servizi broadcast (QPSK, 2/3, SR= 27,5 MS/s, R_u= 33,79 Mbit/s). Il segnale a 70 MHz è quindi inviato al simulatore di microinterruzioni, che è costituito da un modulatore a diodi PIN (HP11665B, c), che è in grado di attenuare a comando elettrico il segnale RF, mandandolo sotto soglia. Il comando viene ottenuto da un generatore di impulsi (HP8007B, d). I parametri dell'impulso sono completamente controllabili da pannello frontale. Mediante un Noise & Interference Test Set (HP3708A, e) si somma rumore gaussiano bianco in modo da ottenere le medesime condizioni di ricezione previste a bordo treno (7 dB di margine). Il segnale così ottenuto è convertito in frequenza a 1GHz ed inviato al ricevitore DVB-S (Newtec NTC2280, f). A questo punto, allo scopo di poter visualizzare il programma mediante un ricevitore DVB-H dotato di MPE-FEC decoder (g), si è inserito un modulatore DVB-H (Screen Service, h). La tratta radio, essendo molto breve, si può assumere priva di errori.

La presenza del *Time Slicing* può essere molto deleteria in quanto il burst di errori potrebbe cadere proprio in corrispondenza dello slice del programma ricevuto rendendo il sistema molto meno protetto di quanto potrebbe essere se il bit rate fosse costante.

Le microinterruzioni generate con il banco descritto sono del tipo riportato in figura B3; i valori utilizzati durante le prove sono desunti dal progetto FIFTH.

In tabella B1 sono riportati i risultati ottenuti.

Come si può osservare, al netto di qualche sporadico errore[Nota B1] per la situazione a 150 km/h, i risultati sono molto promettenti, tenendo conto del rate dell'MPE-FEC non certo ottimale e della presenza del *Time Slicing*.

Nota B1- La presenza di questi errori non è stata spiegata con certezza, ma con buona probabilità è dovuta alla concomitanza della periodicità delle *slices* con la periodicità delle microinterruzioni. Nella realtà, senza il *Time Slicing*, è prevedibile che questa anomalia scompaia.

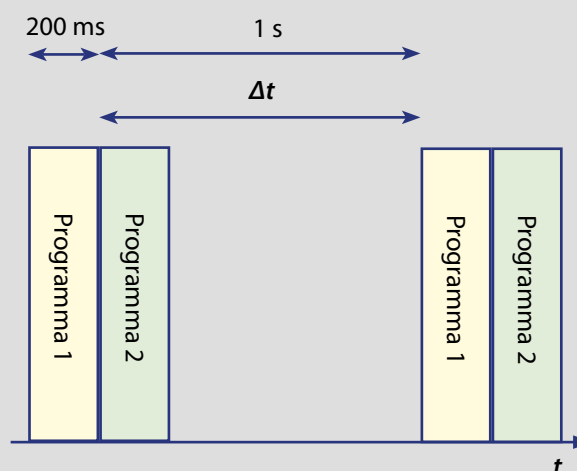



Fig. B2 - Time slicing nel DVB-H.

Non sono stati esplorati altri casi, perché la configurazione dell'MPE-FEC è del tutto sub-ottima, e si rimandano ulteriori indagini a quando si potrà riconfigurare il sistema.

Le prestazioni possono essere quindi anche di molto superiori a quanto riportato nella tabella. Se ciò fosse verificato, renderebbe possibile l'assorbimento da parte del FEC degli effetti di ostacoli di estensione maggiore.

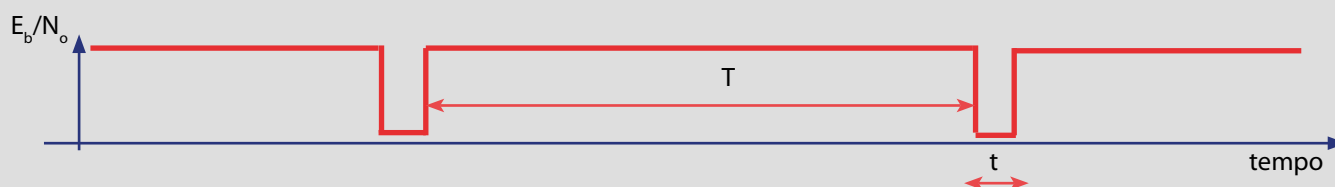



Fig. B3 - Timing delle microinterruzioni.

Velocità [km/h]	T* [ms]	t** [ms]	Risultato del test	Note
300	600	2	OK	
150	1200	4	OK	Errori occasionali
75	2400	8	OK	
37	4800	16	OK	
19	9600	32	OK	

* periodicità dei traliccetti alla velocità indicata considerando una distanza tipica di 53 m

** durata delle microinterruzioni alla velocità indicata considerando uno spessore tipico dei traliccetti di 20 cm

Tab. B1 - Risultati del test.

LTE e DTT:

Effetti dei segnali per la telefonia mobile di 4ª generazione sugli attuali impianti d'antenna televisivi

Davide **Milanesio,** Bruno **Sacco,** Vincenzo **Sardella**

Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Sommario

A partire dal 2015, la porzione della banda UHF compresa tra 790 e 862 MHz, oggi utilizzata per il broadcasting televisivo terrestre, sarà assegnata a servizi di telefonia mobile a standard LTE. La coesistenza di segnali DVB-T/T2 e segnali LTE in bande contigue potrebbe però comportare problemi alla ricezione dei segnali televisivi in zone in prossimità delle Base Station LTE, a causa di una eccessiva potenza interferente che rientra nella banda passante dei dispositivi domestici esistenti. In particolare, questo articolo analizza il caso degli impianti centralizzati d'antenna, in cui i segnali LTE potrebbero causare l'intermodulazione dell'amplificatore di testa, con conseguenti disturbi su tutti i canali TV. Simulazioni e misure sperimentali hanno confermato questo rischio: si è infatti stimato che, in assenza di tecniche di mitigazione, in condizioni sfavorevoli gli impianti riceventi potrebbero essere affetti da disturbi fino ad una distanza di oltre 1 km dalla Base Station. In questi casi sarà pertanto necessario attuare di volta in volta opportune tecniche di mitigazione sia da parte degli operatori (riduzione del segnale LTE in aree specifiche, cross-polarizzazione, ecc.) sia da parte degli utenti finali (aggiunta di filtri, utilizzo di centralini canalizzati, spostamento di antenne, ecc.).

1. Introduzione

Tra gli obiettivi del cosiddetto "switch-off" della televisione analogica, il cui completamento nell'Unione Europea è previsto entro il 2012, oltre alla moltiplicazione dell'offerta televisiva e alla possibilità di rendere disponibili agli utenti nuovi servizi quali multimedialità, alta definizione e 3D, va senz'altro annoverato il "dividendo digitale", ovvero la possibilità di liberare una porzione dello spettro nella banda UHF grazie alla maggiore efficienza spettrale della tecnica trasmissiva digitale.

In Europa si è stabilito [1] che questo dividendo digitale, corrispondente alla porzione della banda UHF tra 790 e 862 MHz (detta brevemente "banda 800 MHz"), dal 2015 sia sottratto al broadcasting televisivo e destinato invece ai servizi di telefonia mobile a standard LTE, il cosiddetto 4G, recependo una delibera della Conferenza Mondiale sulle Radiocomunicazioni (WRC-07). Le frequenze 4G della banda 800 MHz sono state recentemente assegnate anche in Italia mediante gara pubblica, come stabilito dalla manovra di stabilità per il 2011.

La coesistenza in bande di frequenza contigue di servizi broadcast e cellulari, con diverse aree di copertura ed esigenze in termini di potenze emesse, potrebbe però comportare nuovi problemi alla rice-

zione dei segnali televisivi. Le zone particolarmente critiche sono quelle ai limiti dell'area di copertura dei trasmettitori DTT, a standard DVB-T o DVB-T2, se una BTS 4G è installata a breve distanza. Infatti, i sintonizzatori dei televisori potrebbero risentire di una eccessiva potenza interferente ("in-band" o "out-of-band") generata dal segnale 4G; inoltre, nel caso di ricezione mediante impianti centralizzati d'antenna, si evidenzia il rischio di intermodulazione dell'amplificatore a larga banda del centralino, con conseguenti disturbi su tutti i canali della banda UHF.

È quindi importante studiare a fondo le problematiche che potrebbero sorgere nella ricezione televisiva domestica e individuare possibili tecniche di mitigazione. In quest'ottica sono stati avviati numerosi studi a livello internazionale: tra questi ricordiamo i lavori ad opera del CEPT [2], dell'EBU [3], di ITU [14,15] e del Consorzio DVB. In particolare, i risultati riportati in questo articolo derivano da simulazioni e misure sperimentali realizzate presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai nell'ambito delle attività promosse dal DVB.

2. Condivisione della banda UHF tra servizi broadcast e 4G

2.1 Allocazione dei canali 4G

A seguito dell'assegnazione della banda 800 MHz ai servizi 4G a standard LTE, la banda UHF dedicata ai servizi broadcast sarà limitata alle frequenze tra 470 e 790 MHz (canali 21÷60), rinunciando agli attuali ulteriori 9 canali televisivi.

Acronimi e sigle	
4G	4th Generation
AWG	Arbitrary Waveform Generator,
BER	Bit Error Ratio
BTS	Base Transceiver Station
CEPT	Conférence Européenne des Postes et des Télécommunications
DTT	Digital Terrestrial Television
DVB	Digital Video Broadcasting
EBU	European Broadcasting Union
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
FDD	Frequency Division Duplex
IMD	InterModulation Distortion
LTE	Long Term Evolution
MATV	Master Antenna TeleVision
MER	Modulation Error Ratio
UHF	Ultra High Frequency

I 72 MHz residui, destinati ai servizi LTE, sono stati allocati in Europa secondo il sistema FDD, come riportato nella figura 1 [4].

La banda per canale LTE è di 5+5 MHz, o multipli; la banda LTE complessiva è pari a 30+30 MHz.

La banda di guardia tra i canali broadcast e i canali LTE downlink (DL) è di solo 1 MHz.

Si nota che i canali in uplink (UL) sono a frequenze più lontane rispetto ai canali broadcast, al fine di ridurre l'interferenza a livello domestico.

In Italia sono state assegnate 3 licenze FDD (2x10 MHz ciascuna).

Fig. 1 – Allocazione dei canali per servizi LTE nella banda 790÷862 MHz (FDD).

790-791	791-796	796-801	801-806	806-811	811-816	816-821	821-832	832-837	837-842	842-847	847-852	852-857	857-862
Banda di guardia	Downlink						Duplex gap	Uplink					
1 MHz	30 MHz (6 blocchi da 5 MHz)						11 MHz	30 MHz (6 blocchi da 5 MHz)					

2.2 Livelli dei segnali

È previsto che i livelli massimi di EIRP dei segnali LTE emessi dalle BTS (downlink) e dai terminali mobili (uplink) siano indicati dalle singole amministrazioni, in accordo comunque con le raccomandazioni emesse dal CEPT, che prevedono che non si superino i valori seguenti [2]:

- ✓ 56 ÷ 64 dBm su 5 MHz (o 59 ÷ 67 dBm su 10 MHz) in downlink[Nota 1];
- ✓ 23 dBm in uplink[Nota 2].

3. Possibili tecniche di mitigazione

I primi test di laboratorio effettuati a livello internazionale per valutare il comportamento dei ricevitori DVB-T e DVB-T2 commerciali in presenza di segnali LTE hanno dimostrato che i disturbi possono essere piuttosto critici sui canali alle frequenze più elevate (e in particolare sul canale 60), a causa della limitata separazione in frequenza rispetto alla banda assegnata ai segnali LTE e della limitata selettività del tuner del ricevitore DVB-T/T2 [5]. In caso di limitata schermatura dei cavi e dei componenti dell'impianto di distribuzione è possibile anche l'interferenza dei segnali LTE in uplink, generati dal terminale mobile d'utente all'interno della stessa abitazione .

Per ridurre gli effetti dell'interferenza dei segnali LTE sui segnali DTT è quindi necessario prevedere tecniche di mitigazione, eventualmente da applicarsi in combinazione tra loro [6], [7], [8].

Queste tecniche, che hanno nel loro complesso costi piuttosto elevati, ricadono sotto la responsabilità di diversi degli attori della catena trasmissiva (operatori di telefonia mobile, broadcaster, costruttori di apparati, costruttori di ricevitori DVB T/T2, utenti finali):

- ✓ Riduzione della potenza trasmissiva del primo canale LTE: questo consente un migliore C/I (Carrier to Interference Ratio) sul canale DTT adiacente;
- ✓ Filtraggio particolarmente selettivo presso la BTS del segnale LTE: questo riduce le emissioni fuori banda con benefici sul canale DTT adiacente;
- ✓ Cross-polarizzazione: trasmettendo i segnali DTT e LTE con diagrammi di irradiazione tra loro perpendicolari, il segnale interferente è ricevuto in antenna attenuato (di circa 10÷14 dB). Va però osservato che, per motivi di spazio, le BTS utilizzano generalmente una polarizzazione ±45° ("Tx diversity"): l'attenuazione dovuta alla cross-polarizzazione in questo caso è pari a circa 3 dB[Nota 3];
- ✓ Installazione delle BTS LTE di maggior potenza nei pressi dei siti trasmittenti DTT: questo consentirebbe di ridurre la differenza di livello tra segnali DTT e LTE[Nota 4];
- ✓ Spostamento o diverso orientamento dell'antenna ricevente;

Nota 1 - Ad esempio, nelle licenze assegnate in Germania è previsto un massimo valore di EIRP in downlink (su 5 MHz) di 56 dBm in ambiente urbano e di 64 dBm in ambiente rurale.

Nota 2 - L'utilizzo di antenne esterne da parte dell'utente potrebbe aumentare questo valore (guadagno tipico: 9 dBi per antenne direttive, 5 dBi per antenne non direttive).

Nota 3 - La discriminazione di polarizzazione è efficace soltanto nella regione di "far field", ovvero a distanze superiori a $2D^2/\lambda$ (dove D è la dimensione complessiva della sorgente e λ è la lunghezza d'onda), mentre a distanze inferiori sono ancora presenti le componenti di campo vicino. In particolare, ponendo D = 2 m, il far field nella banda 800 MHz corrisponde a distanze superiori a circa 21 m. Ciò significa che questa tecnica di mitigazione non è comunque efficace per le antenne riceventi poste sullo stesso tetto della BTS LTE.

Nota 4 - Analogamente, si potrebbe prevedere l'utilizzo di gap filler DVB-T/T2 ("on-channel repeater") installati presso gli stessi siti delle BTS. L'introduzione di questi gap filler però, oltre a comportare notevoli investimenti economici per i broadcaster e un ulteriore contributo all'inquinamento elettromagnetico, richiederebbe anche l'intervento sugli impianti riceventi (diverso orientamento delle antenne, regolazione dei livelli, ecc.).

✓ Filtri "in-line", che devono essere in grado di attenuare quanto possibile i segnali LTE, ma con ridotta perdita di inserzione alle frequenze fino a 790 MHz[Nota 5]:
  - Esterni, che l'utente stesso può collegare all'ingresso del ricevitore DVB T/T2 (costo stimato dell'ordine di 15 €, figura 2);
  - Integrati nei ricevitori di nuova produzione[Nota 6];
  - Filtri semi-professionali, destinati agli impianti di distribuzione condominiali, in cui il costo, stimabile in qualche centinaio di euro, può essere ripartito tra tutti gli utenti;

✓ Sostituzione del centralino a larga banda con un centralino canalizzato, basato cioè su filtri di canale.

Una prima stima dei costi complessivi relativi a queste tecniche di mitigazione è stata fornita da Ofcom relativamente alla Gran Bretagna. Secondo questa stima, il costo complessivo sarà di circa 100 milioni di sterline inglesi, di cui oltre la metà direttamente a carico degli utenti finali (acquisto filtri, interventi sugli impianti, ecc.) [7].

4. Valutazione dell'impatto dei segnali LTE sull'intermodulazione degli amplificatori negli impianti d'antenna

4.1 Scenario

Gli impianti centralizzati d'antenna (MATV) sono ampiamente diffusi in Italia per la distribuzione dei segnali DVB-T (e in futuro DVB-T2).

Nota 5 - Tra le ipotesi è prevista anche la realizzazione di diverse tipologie di filtro, con diverse frequenze di taglio a seconda che il canale 60 sia utilizzato in una specifica area oppure no.

Nota 6 - In questo caso si avrebbe lo svantaggio di non poter scegliere il tipo di filtro più adatto per la specifica condizione di ricezione.

Fig. 2 – Aspetto esteriore di filtri "in-line".

Questi impianti prevedono un centralino di testa, in cui i segnali televisivi vengono ricevuti dalle antenne, amplificati e distribuiti sulla rete in cavo coassiale di edificio. In molti casi, e in particolare se tutti i segnali sono ricevibili da siti trasmittenti localizzati in una direzione principale, al centralino è utilizzato un amplificatore a larga banda per amplificare l'intera banda UHF: questo consente una notevole riduzione dei costi rispetto ad un centralino canalizzato, offrendo allo stesso tempo all'utente una soluzione già predisposta per ricevere eventuali nuovi multiplex attivati su canali inizialmente liberi.

I segnali LTE saranno trasmessi in una banda attualmente occupata da servizi DTT, pertanto gli amplificatori esistenti, di banda passante 470÷862 MHz, li amplificheranno insieme ai segnali utili. Se la BTS è molto vicina, la potenza dei segnali LTE ai morsetti dell'antenna ricevente dell'impianto centralizzato potrebbe essere molto più elevata rispetto ai segnali DTT, causando la saturazione dell'amplificatore (figura 3).

Gli stessi rischi di intermodulazione possono colpire anche impianti singoli che utilizzino amplificatori da palo o intermedi.

Questo scenario è stato valutato mediante simulazioni software e misure sperimentali di laboratorio, allo scopo di dare una prima risposta alle seguenti domande:

- Quale può essere l'impatto dei segnali LTE sull'intermodulazione degli amplificatori?

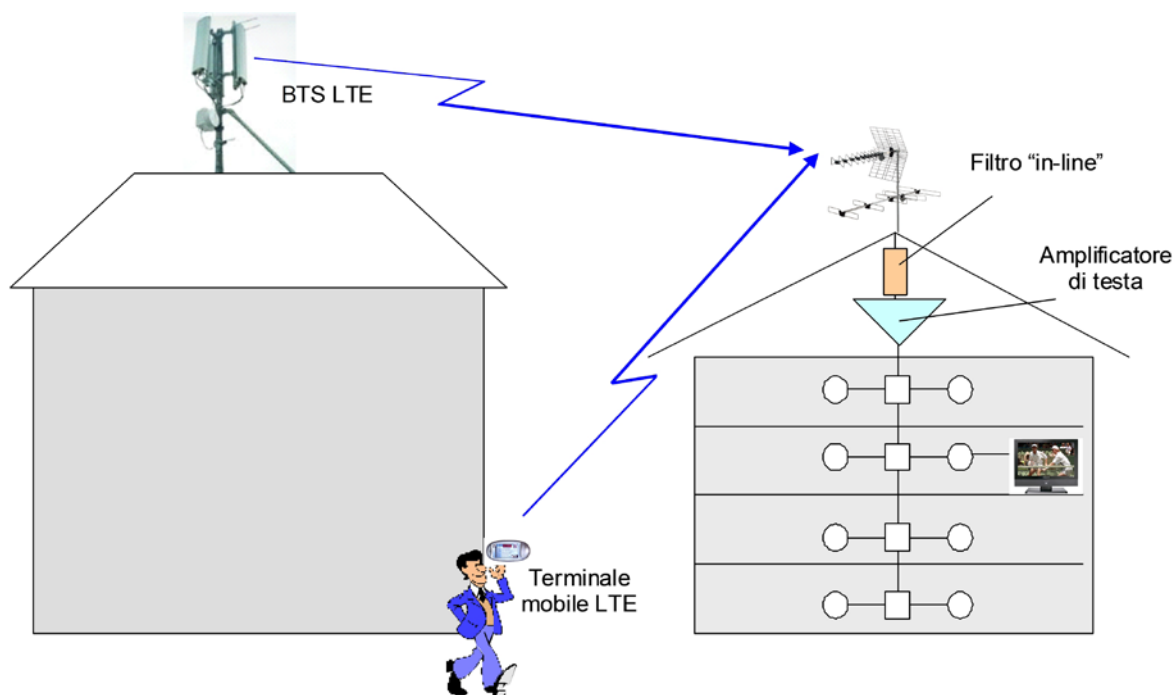



Fig. 3 – Scenario considerato: impatto dei segnali LTE in un impianto centralizzato d'antenna con amplificazione a larga banda.

- Quali sono i canali più penalizzati? Sono penalizzati solo i canali più vicini ai segnali LTE o può essere penalizzata l'intera banda UHF?
- Gli effetti possono essere sufficientemente mitigati mediante un filtro "in-line" condominiale, posto a monte dell'amplificatore?

4.2 Simulazioni

Lo scenario descritto è stato analizzato mediante un simulatore software in grado di valutare, canale per canale, la potenza dei prodotti di intermodulazione generati dall'insieme dei segnali d'ingresso (DTT e LTE).

4.2.1 Modello dell'amplificatore e ipotesi di simulazione

Quando più segnali multiplati in frequenza transitano attraverso un dispositivo non lineare, quale un amplificatore a larga banda, all'uscita di tale dispositivo è presente anche un certo numero di prodotti d'intermodulazione, dovuti ai battimenti tra le frequenze in ingresso.

I livelli di potenza di questi prodotti d'intermodulazione, che possono cadere nella banda del segnale utile rappresentando quindi degli interferenti co-canale, dipendono dalle caratteristiche dell'amplificatore e dal suo punto di lavoro.

In un sistema reale è difficile misurare la potenza interferente, poiché occorre distinguerne il contributo da quello del segnale utile. Un valido modo di conoscere il valore degli interferenti consiste quindi nel calcolo analitico dei prodotti d'intermodulazione.

La caratteristica ingresso-uscita di un amplificatore non lineare può essere approssimata con il suo sviluppo in serie di potenze troncato al 3° ordine, secondo l'espressione:

$$V_o = k_1 V_i + k_2 V_i^2 + k_3 V_i^3$$

dove:

- V_i è la tensione d'ingresso;
- V_o è la tensione d'uscita;
- k_1 è il guadagno dell'amplificatore;
- k_2 , k_3 sono i coefficienti dello sviluppo in serie di ordine 2, 3.

Si noti che questo modello è valido ai normali punti di lavoro dell'amplificatore: per valori di segnali d'ingresso molto alti potrebbe risultare ottimistico, ed occorrerebbe approssimare la funzione di trasferimento fino almeno al 5° ordine [9].

Per maggiore semplicità, il modello utilizzato dal simulatore software è in realtà il seguente:

$$A_o = A_i + k_2 A_i^2 + k_3 A_i^3$$

dove:

- $A = \sqrt{P} = V/\sqrt{R}$, con R = 75 Ω;
- Il guadagno è stato normalizzato a 1.

I coefficienti k_2 e k_3 possono essere calcolati a partire dai valori di IMD del 2° e 3° ordine, disponibili sui cataloghi degli amplificatori o misurabili in laboratorio [10].

Nel caso in esame, è stata considerata una situazione ritenuta tipica (e non eccessivamente pessimistica) di ricezione DTT ai bordi dell'area di ricezione e in presenza di una BTS LTE piuttosto vicina e nella stessa direzione dei siti trasmittenti DVB-T/T2.

È stato modellizzato un amplificatore a larga banda UHF commerciale, con le caratteristiche tecniche riportate nella tabella 1.

Tab. 1 - Caratteristiche tecniche dell'amplificatore modellizzato.

Livello nominale	112 dB(μV)
Guadagno massimo	39,9 dB
IMD 2° ordine	-48 dB
IMD 3° ordine	-54 dB

Sulla base di questi parametri, i valori di k_2 e k_3 sono stati determinati rispettivamente pari a -0,0025089 $W^{-1/2}$ e -0,0005283 W^{-1}. La caratteristica ingresso-uscita normalizzata è riportata nella figura 4.

Come condizione di partenza, si ipotizza che l'amplificatore sia stato regolato dall'installatore prima dell'introduzione dei segnali LTE.

Il livello d'uscita nominale dell'amplificatore specificato sui cataloghi (tabella1) è relativo a due soli segnali d'ingresso: se sono presenti più di due segnali, questo livello deve essere ridotto in modo opportuno. Una legge generalmente adottata per calcolare la riduzione del livello d'uscita (espressa in dB) in funzione del numero di canali è la seguente [11]:

$$\Delta P = 7{,}5 \log (n_c-1) + M_P$$

dove n_c è il numero di canali e M_P è un ulteriore margine di protezione nei confronti di possibili future estensioni in termini di numero di canali distribuiti o per assorbire eventuali aumenti di livello da parte dei canali già distribuiti.

In questo esempio si è supposto di distribuire 40 canali (valore coerente con la situazione in Italia nelle aree densamente popolate) e si è adottato un margine di 3 dB: di conseguenza, la riduzione rispetto al livello nominale risulta di 14,9 dB e il livello di potenza d'uscita dei segnali DVB-T/T2 è di 97,1 dB(μV), pari a 11,7 dBm (inizialmente, si ipotizza che tutti i segnali siano ricevuti con lo stesso livello).

Il guadagno effettivo dell'amplificatore dopo la riduzione applicata è di 25 dB: ne consegue che il livello dei segnali DTT ricevuti in antenna sia di -36,7 dBm, pari a 72,1 dB(μV).

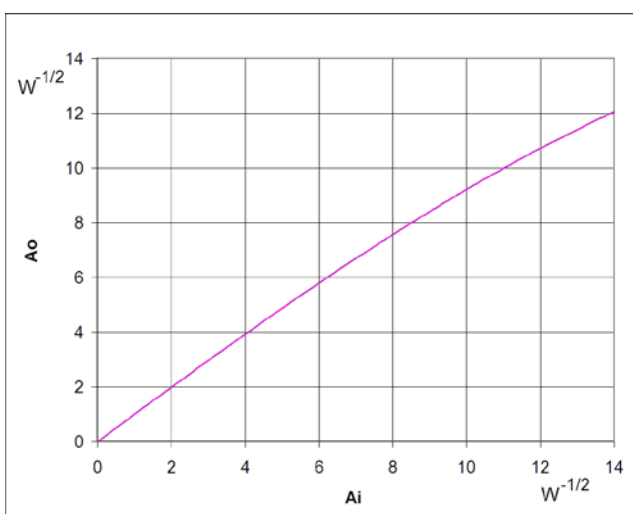



Fig. 4 – Caratteristica ingresso-uscita normalizzata dell'amplificatore modellizzato.

Lo scenario simulato prevede che i segnali DTT siano inviati all'amplificatore insieme ad un certo numero di segnali LTE.

I livelli dei segnali LTE in downlink e in uplink ricevuti dall'antenna TV (come in figura 4) sono stati impostati in accordo con la tabella 2, evitando quindi casi estremi più pessimistici.

Si noti che è stata considerata la presenza di una sola BTS LTE: in un caso generale, queste BTS saranno distribuite sul territorio con una certa densità, cumulando i contributi interferenti.

Tab. 2 - Parametri dei segnali LTE considerati.

	Downlink	Uplink
EIRP	59 dBm	23 dBm
Distanza	71 m	22 m
Attenuazione radio	64 dB	56 dB
Livello segnale ricevuto	-5 dBm	-33 dBm

Confrontando questi valori di segnale ricevuto con quelli dei segnali DTT, si ricava un valore di C/I (inteso come rapporto tra il livello del segnale DVB-T/T2 e il livello del segnale LTE su altra frequenza) di -31,7 dB per segnali LTE downlink, e di -3,7 dB per segnali LTE uplink[Nota7].

Il simulatore rappresenta ciascuno dei segnali digitali, DTT o LTE, come un'insieme di N portanti equispaziate (in questo caso si è scelto N pari a 10), distribuite all'interno della propria banda (8 MHz per segnali DTT, 5 MHz per segnali LTE), di potenza pari a 1/N della potenza del segnale. Tutti i possibili prodotti di intermodulazione tra tutte le portanti così ottenute sono calcolati analiticamente, sommando la potenza interferente generata all'interno dei canali d'ingresso e determinando quindi il valore di C/I (inteso come rapporto tra la potenza del segnale utile e la potenza del segnale interferente co-canale dovuto ad intermodulazione) per ciascuno dei canali.

Nota 7 - In casi più sfavorevoli (ai limiti dell'area di copertura DTT), il C/I rispetto a segnali LTE downlink può arrivare a circa -72 dB.

Si noti che i segnali LTE sono stati simulati con livello costante, come se l'occupazione del traffico dati trasportato fosse costantemente pari al 100% (§ 4.3.1): non si è cioè tenuto conto del fatto che, nella realtà, il livello effettivo di un segnale LTE può variare istante per istante in funzione del traffico dati trasportato.

Infine, per valutare gli effetti di un filtraggio "in-line" del segnale a monte dell'amplificatore a larga banda, le simulazioni sono state ripetute anche modificando i livelli dei segnali d'ingresso secondo la funzione di trasferimento di due diversi filtri, denominati nel seguito "a pendenza graduale" e "Ofcom" (figura 5):

- Il filtro "a pendenza graduale" consente una elevata attenuazione sui se-gnali LTE, ma al costo di una elevata perdita di inserzione sugli ultimi canali DTT, che potrebbero quindi non essere più ricevibili se ci si trova ai bordi dell'area di copertura;
- Il filtro "Ofcom" [6] introduce una limitata perdita di inserzione, ma non attenua in modo significativo il primo blocco LTE di 10 MHz: è quindi indicato soprattutto nei casi in cui la BTS non irradia quel primo blocco, o lo irradia a potenza ridotta.

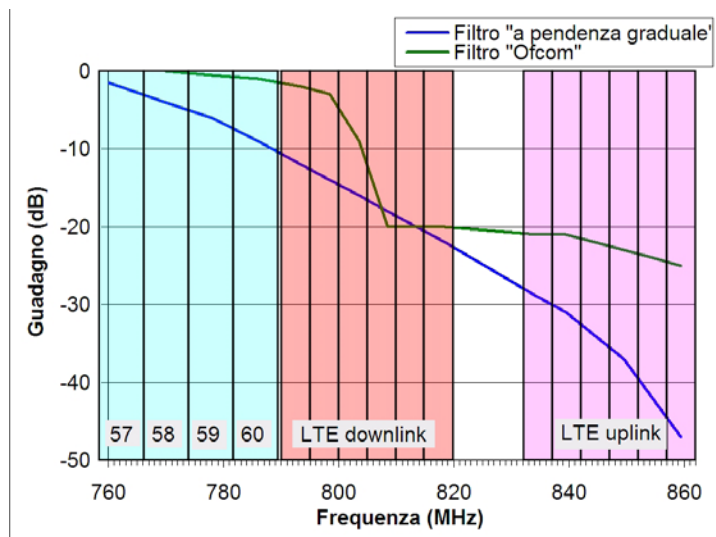



Fig. 5 – Funzione di trasferimento dei due filtri in-line considerati.

4.2.2 Risultati delle simulazioni

Le simulazioni sono state ripetute per un certo numero di scenari, ritenuti rappresentativi di situazioni che si potranno realisticamente verificare in prossimità delle BTS LTE:

1) Scenario A: situazione originaria, in assenza di segnali LTE: in questo caso l'amplificatore opera come da specifiche, permettendo di distribuire tutti i canali con un buon margine al di sopra della soglia;

2) Scenario B: 1 segnale LTE in downlink;

3) Scenario C: 1 segnale LTE in uplink;

4) Scenario D: 6 segnali LTE in downlink;

5) Scenario E: 6 segnali LTE in downlink e 6 in uplink;

6) Scenario A*: situazione in assenza di segnali LTE, con uno dei segnali DTT ricevuto con livello 20 dB inferiore rispetto agli altri;

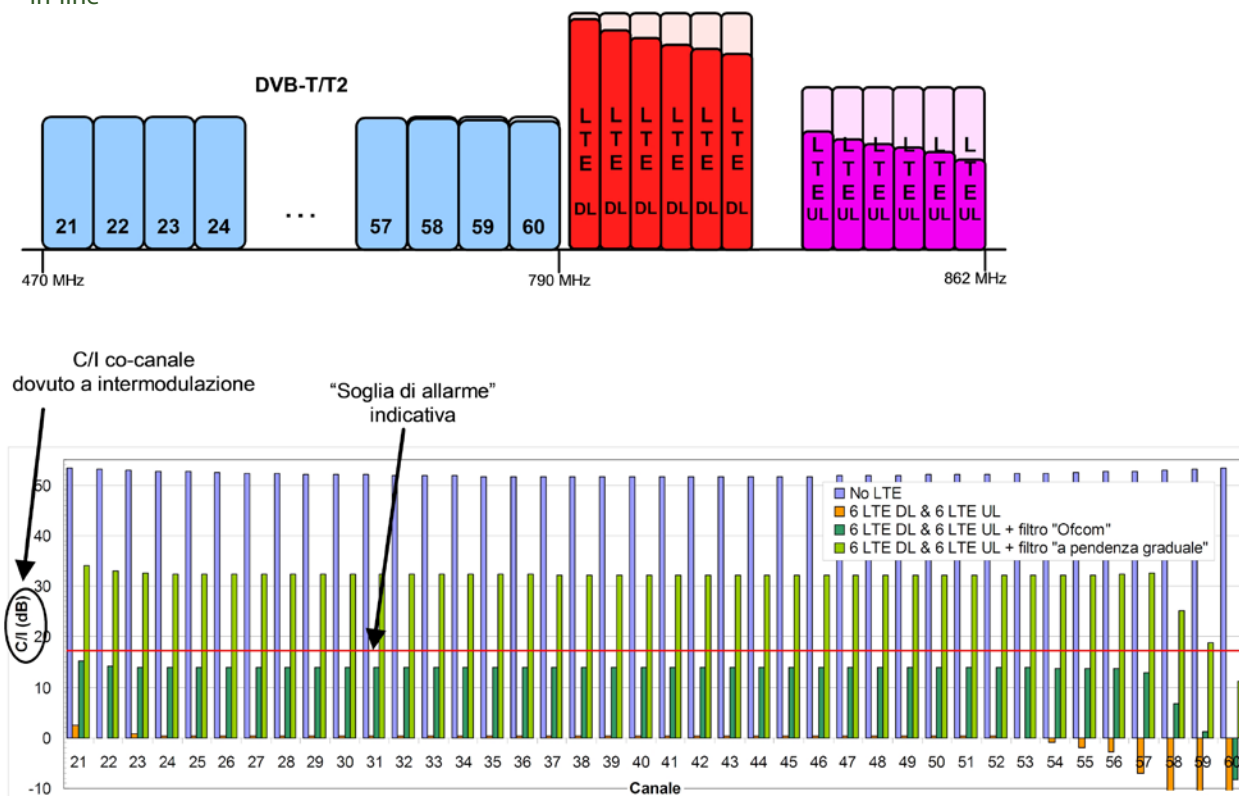
7) Scenario E*: uno dei segnali DTT ricevuto con livello 20 dB inferiore rispetto agli altri, 6 segnali LTE in downlink e 6 in uplink.

I livelli dei segnali DTT e LTE nei vari casi sono quelli riportati in § 4.2.1. In tutti gli scenari, le simulazioni sono state ripetute anche in presenza dei due modelli di filtri "in-line" considerati.

I principali risultati ottenuti sono elencati di seguito. La figura 6 li riporta più in dettaglio nel caso dello scenario E, a confronto con lo scenario A[Nota 8].

- Nello scenario B, in presenza di un segnale LTE, l'intermodulazione è già evidente su tutti i cana-

Nota 8 - Occorre naturalmente sottolineare che i risultati ottenuti sono rappresentativi da un punto di vista qualitativo più che quantitativo: i valori di C/I in casi reali dipendono fortemente dalla situazione specifica, ovvero dalle caratteristiche dell'amplificatore, dai livelli relativi dei segnali, ecc.

Fig. 6 – Risultati delle simulazioni nello Scenario E (6 segnali LTE in downlink + 6 in uplink) + filtro "in-line"

li: il canale 60 è quello più penalizzato, ma tutti i canali sono sotto soglia in queste condizioni[Nota 9].

- Un filtraggio "in-line" di base può aiutare a ridurre gli effetti dell'intermodulazione, ma solo parzialmente. Il miglioramento dipende dalla risposta in frequenza del filtro (ovvero dall'entità dell'attenuazione sui segnali LTE) e dal canale considerato.
- Nello scenario C, l'impatto sull'intermodulazione di un segnale LTE in uplink, di potenza minore, risulta modesto: tutti i segnali DTT mantengono un buon margine sulla soglia di ricezione anche in assenza di filtri.
- Nello scenario D, in assenza di filtraggio, i segnali DTT non sono ricevibili: tutti i canali sono abbondantemente sotto soglia. Anche in questo caso un filtraggio "in-line" di base può aiutare a ridurre gli effetti dell'intermodulazione, ma solo parzialmente; inoltre, non tutti i canali possono essere correttamente ricevuti in queste condizioni.
- I risultati nello scenario E sono abbastanza simili allo scenario D: con questi livelli relativi i segnali LTE in uplink forniscono infatti un limitato contributo aggiuntivo all'intermodulazione, più visibile sui canali nella parte alta dello spettro.
- Lo scenario A* (in assenza di LTE) introduce una situazione più critica: uno dei segnali DTT (il canale 22) è ricevuto con livello più basso degli altri (di 20 dB), pertanto il suo margine di ricezione è inferiore. Si noti che, a rigore, una situazione di questo tipo, pur non inusuale in casi reali, non è strettamente conforme alla normativa sulla distribuzione dei segnali TV negli impianti condominiali [12], che prevede un minore dislivello tra i vari canali (max. 12 dB in tutte le bande VHF/UHF, 6 dB entro 60 MHz e 3 dB tra canali adiacenti), pertanto, in questo caso, l'installatore avrebbe dovuto non certificare il canale 22 come canale ricevibile, o in alternativa adottare una tecnica di distribuzione canalizzata. Resta comunque inteso che, dal punto di vista dell'utente finale, questo canale risulta ricevibile.
- Nello scenario E* (corrispondente allo scenario A* ma con in aggiunta i segnali LTE), il rapporto tra livello del canale 22 e livello del segnale LTE in downlink è di -51,7 dB (valore comunque migliore di circa 20 dB rispetto a valori che ci si può attendere in condizioni più sfavorevoli). In presenza di intermodulazione, il filtraggio "in-line" a monte dell'amplificatore non è sufficiente a proteggere dall'intermodulazione il canale DTT ricevuto con livello basso.

4.3 Misure di laboratorio

Nell'impossibilità di effettuare al momento test in campo su impianti centralizzati reali, a causa dell'assenza di segnali LTE già irradiati in Italia nella banda 800 MHz, il segnale LTE è stato generato in laboratorio e quindi sommato ai segnali televisivi reali ricevuti da un'antenna UHF, per essere inviato in un amplificatore a larga banda.

4.3.1 Generazione del segnale LTE

Il segnale LTE disturbante è stato emulato in laboratorio utilizzando un generatore di forme d'onda arbitrarie (AWG) Anritsu MG3700A. Tale strumento permette di modulare una portante RF con un segnale complesso in banda base campionato. La sequenza di campioni viene caricata in un hard disk interno, e di qui nella memoria RAM di sistema.

Le sequenze di campioni LTE utilizzate sono quelle adottate dal Gruppo DVB TM-T2. Tali sequenze, che si riferiscono a segnali di larghezza di banda 10 MHz, sono state ottenute catturando con un acquisitore Adivic TCX3000 il segnale generato da apparecchiature LTE[Nota 10]. Le registrazioni sono state poi filtrate, decimate e riformattate in MATLAB in modo da poter essere riprodotte su generatori di segnali vettoriali standard come file dati IQ interleaved.

Nota 9 - La soglia di allarme indicativa, tracciata in rosso sul grafico della figura 6, dipende in realtà dal tipo di modulazione e FEC adottato dallo specifico canale.

Nota 10 - Le configurazioni registrate sono state generate dal fornitore dell'apparato, in modalità test.

I campioni dei file sono stati quindi scalati in modo tale che il segnale di picco sia all'interno del punto 1 dB clip di un DAC a 16 bit.

Sono stati utilizzati tre tipi di segnali LTE campionati:

- Segnale BTS "idle", nella condizione in cui il sistema si trova in assenza di terminali utenti nel raggio d'azione della cella;
- Segnale BTS con un carico di utenti tale da impegnare il 50% delle risorse (blocchi).
- Segnale BTS con un carico di utenti tale da impegnare il 100% delle risorse (blocchi).

Le misure descritte nel seguito si riferiscono pertanto a tre diverse tipologie di segnali LTE downlink disturbanti, come definito nella tabella 3.

Tab. 3 - Tipologie di segnali LTE downlink utilizzate.

Nome configurazione	Larghezza di banda	Data-rate
"LTE 100%"	10 MHz	100%
"LTE 50%"	10 MHz	50%
"LTE idle"	10 MHz	Idle

La Potenza di uscita del generatore AWG è stata controllata con un power meter (bolometro) nella condizione di 100% di carico, e - a frequenza della portante ridotta - con un oscilloscopio, per confrontare il valore di picco del segnale nei tre casi. I valori RMS del segnale interferente LTE nelle diverse configurazioni di carico, una volta allineati i valori di picco, sono risultati quelli dichiarati dal Gruppo DVB TM-T2, ovvero 0 dB nel caso "LTE 100%", -2,3 dB nel caso "LTE 50%" e 8,3 dB nel caso "idle".

Per i test si sono quindi impostati livelli del segnale LTE tali da avere medesimo valore di picco nelle varie condizioni (figura 7).

4.3.2 Banco di misura

Il banco di misura, allestito presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica, è mostrato nella figura 8.

I segnali televisivi sono ricevuti mediante un'antenna UHF a larga banda puntata in direzione del sito trasmittente di Torino Eremo. Questi segnali sono combinati con il segnale LTE generato in laboratorio come descritto in § 4.3.1.

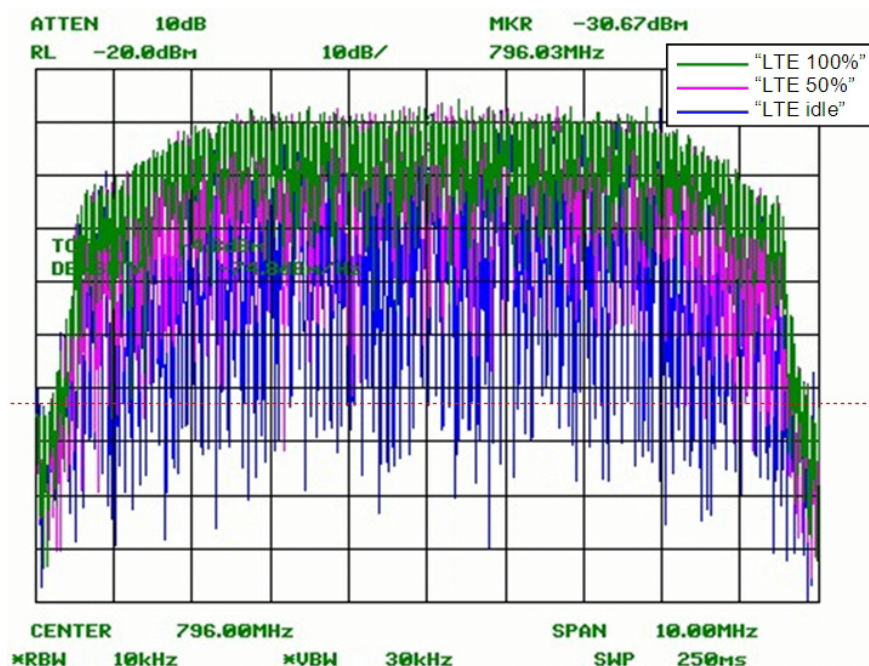



Fig. 7 – Spettro di potenza del segnale LTE nelle tre configurazioni.

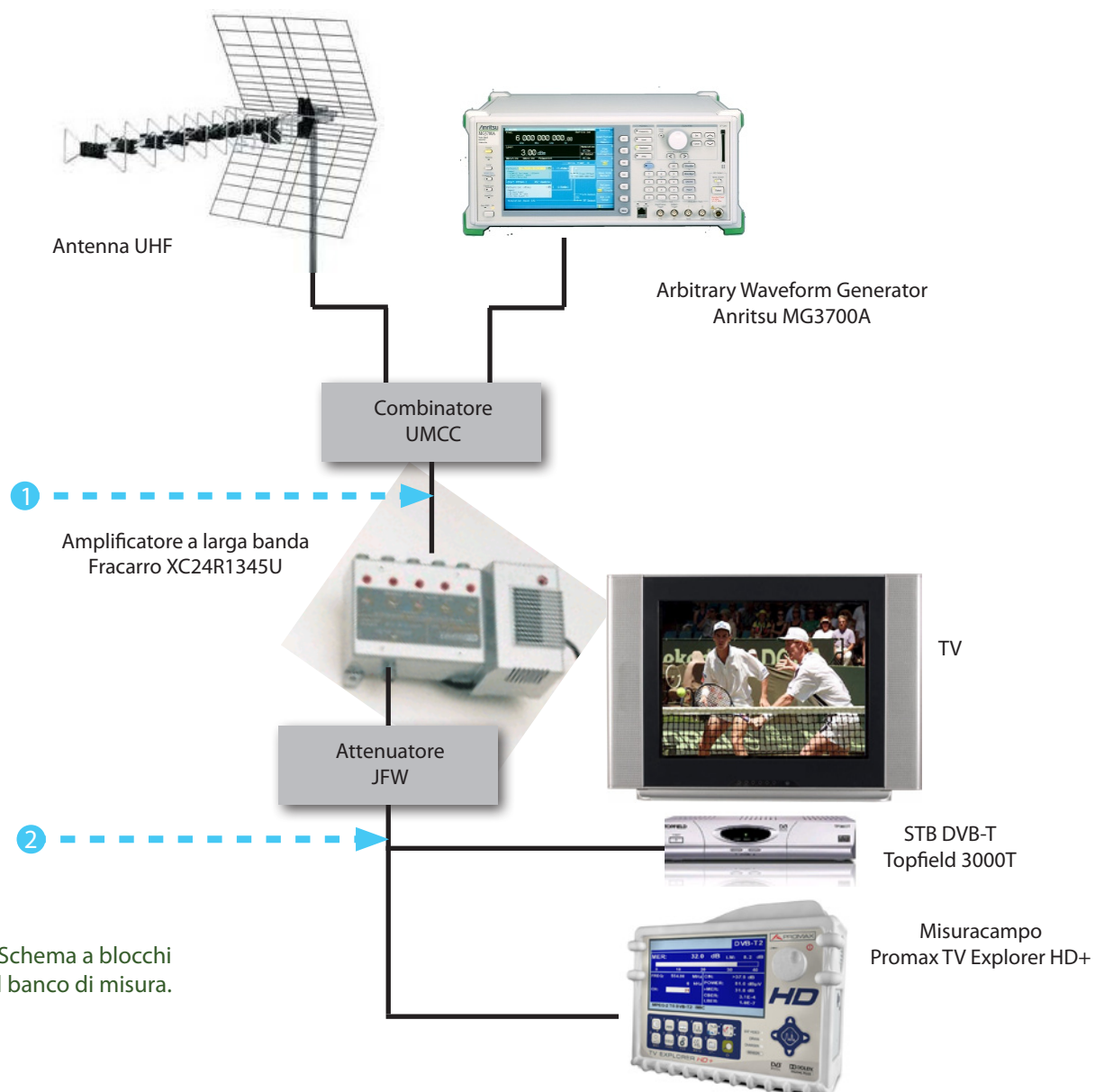



Fig. 8 – Schema a blocchi del banco di misura.

I numeri 1 e 2 indicati nella figura 8 rappresentano i punti di misura sui segnali.

L'amplificatore a larga banda è il modello Fracarro XC24R1345U, caratterizzato nella banda UHF da livello d'uscita nominale 119 dB(μV) e guadagno massimo 42 dB.

L'attenuatore sostituisce la rete di distribuzione di edificio, ed è stato regolato in modo da compensare il guadagno dell'amplificatore: questo consente di confrontare le prestazioni sui segnali nei punti 1 e 2 circa a pari livello del segnale, quindi con una maggiore coerenza delle misure.

4.3.3 Risultati delle misure

L'elenco dei canali TV ricevuti in antenna[Nota 11] è riportato nella tabella 4, insieme ai livelli misurati nel punto 1 della figura 8. La tabella riporta tutti i canali al di sotto di 790 MHz; esistono poi attualmente anche alcuni canali trasmessi nella banda 790÷862 MHz, su cui non sono state fatte misure, ma che comunque danno il loro contributo all'intermodulazione dell'amplificatore.

Nota 11 - L'elenco si riferisce al mese di giugno 2011.

Tab. 4 – Elenco canali ricevuti in antenna.

Canale	Standard	Modulazione e FEC	Livello dB(µV)	Ricezione
21	DVB-T	64-QAM 2/3	70	☺
22	DVB-T	64-QAM 3/4	66	☺
23	DVB-T	QPSK 5/6	65,1	☺
24	DVB-T	64-QAM 3/4	62,3	☺
25	DVB-T	QPSK 1/2	47,4	☺
26	DVB-T	64-QAM 2/3	62,1	☺
27	-			
28	-			
29	DVB-T	64-QAM 3/4	66	☺
30	DVB-T	64-QAM 2/3	67,5	☺
31	DVB-T	64-QAM 3/4	66,7	☺
32	DVB-T	64-QAM 2/3	70,9	☺
33	DVB-T	64-QAM 3/4	66,3	☺
34	DVB-T	16-QAM 2/3	63,4	☺
35	DVB-T	64-QAM 2/3	68,5	☺
36	DVB-T	64-QAM 5/6	65,5	☺
37	-			
38	DVB-H	16-QAM 1/2	63,2	☺
39	DVB-T	64-QAM 3/4	64,1	☺
40	DVB-T	64-QAM 2/3	64	☺
41	DVB-T	64-QAM 3/4	70,6	☺
42	DVB-T	64-QAM 2/3	60,2	☺
43	DVB-T	64-QAM 3/4	71,5	☺
44	DVB-T	64-QAM 3/4	63,8	☺
45	DVB-T	64-QAM 3/4	68,6	☺
46	DVB-T	n.d.	58,5	☹
47	DVB-T	64-QAM 3/4	62	☺
48	DVB-T	64-QAM 3/4	59,2	☺
49	DVB-T	64-QAM 3/4	63,9	☺
50	DVB-T	64-QAM 5/6	59,5	☺
51	DVB-T	64-QAM 3/4	62	☺
52	DVB-T	64-QAM 5/6	63,4	☺
53	DVB-T	64-QAM 3/4	59	☺
54	DVB-T	64-QAM 3/4	65	☺
55	-			
56	DVB-T	64-QAM 5/6	65,1	☺
57	DVB-T	n.d.	50	☹
58	DVB-T	64-QAM 5/6	61	☺
59	DVB-T	64-QAM 2/3	59,4	☺
60	DVB-T	64-QAM 3/4	59,1	☺

Dal momento che i segnali ricevuti in antenna non hanno tutti lo stesso livello, non è semplice applicare la formula teorica di riduzione del livello d'uscita dell'amplificatore illustrata nel paragrafo 4.2.1: si possono infatti individuare 3-4 canali di livello più elevato degli altri, che avranno quindi maggiore peso sull'intermodulazione, ed altri ricevuti a livello più basso.

Si è quindi scelto di regolare l'amplificatore in modo da ricercare un compromesso tra degradamento dei segnali distribuiti (ovvero verificando che i segnali siano ancora tutti ricevibili anche dopo l'amplificazione, e con una minima riduzione del MER) e attenuazione di rete tollerabile a valle dell'amplificatore (in modo da permettere la distribuzione dei segnali in un impianto con un numero di utenti abbastanza elevato).

L'amplificazione risultante è stata di circa 35 dB. La riduzione del MER corrispondente (misurata nel punto 2 della figura 8) varia leggermente da canale a canale, con un valor medio di 0,4 dB.

È quindi stato inserito il segnale LTE disturbante, generato in laboratorio come descritto nel paragrafo 4.3.1, con livello di picco impostato in accordo con il paragrafo 2.2 tenendo conto della distanza dalla BTS come da esempio della tabella 2.

Questa condizione corrisponderebbe alla presenza di una nuova BTS LTE nella posizione indicata nella figura 9.

In particolare, tenendo conto della larghezza di banda di 10 MHz e delle potenze medie effettive, il segnale LTE è stato inserito con le caratteristiche riportate nella tabella 5.

Tab. 5 – Caratteristiche del segnale LTE inserito.

Configurazione	Potenza media	Frequenza centrale
"LTE 100%"	-5 dBm	796 MHz
"LTE 50%"	-7,3 dBm	796 MHz
"LTE idle"	-13,3 dBm	796 MHz

Questo significa che, nel caso peggiore, il C/I relativo ai segnali DVB-T ricevuti con livello maggiore è di circa 33 dB (anche in questo caso, si tratta di un valore non troppo pessimistico). Successivamente sono stati anche effettuati test con livello del segnale LTE ridotto.

Lo spettro del segnale all'uscita dell'amplificatore (punto 2 della figura 8) è riportato nella figura 10, in assenza o in presenza del segnale LTE disturbante.

Si può notare che, in presenza di un segnale LTE così elevato, ad eccezione del caso "idle" la saturazione dell'amplificatore comporta una riduzione del livello di tutti i canali di circa 2÷3 dB.

Le prestazioni del sistema sono state misurate mediante il misuracampo Promax TV Explorer HD+ in termini di avvenuta ricezione, MER, Noise Margin e BER prima e dopo Viterbi.

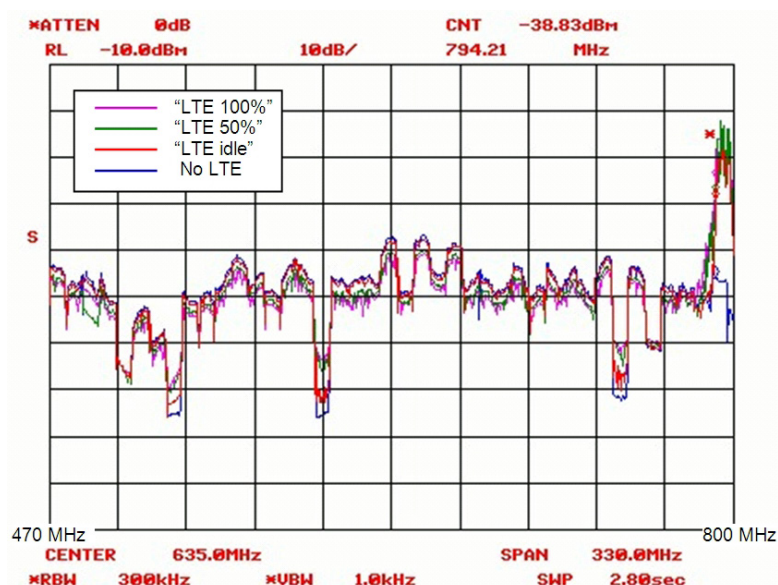
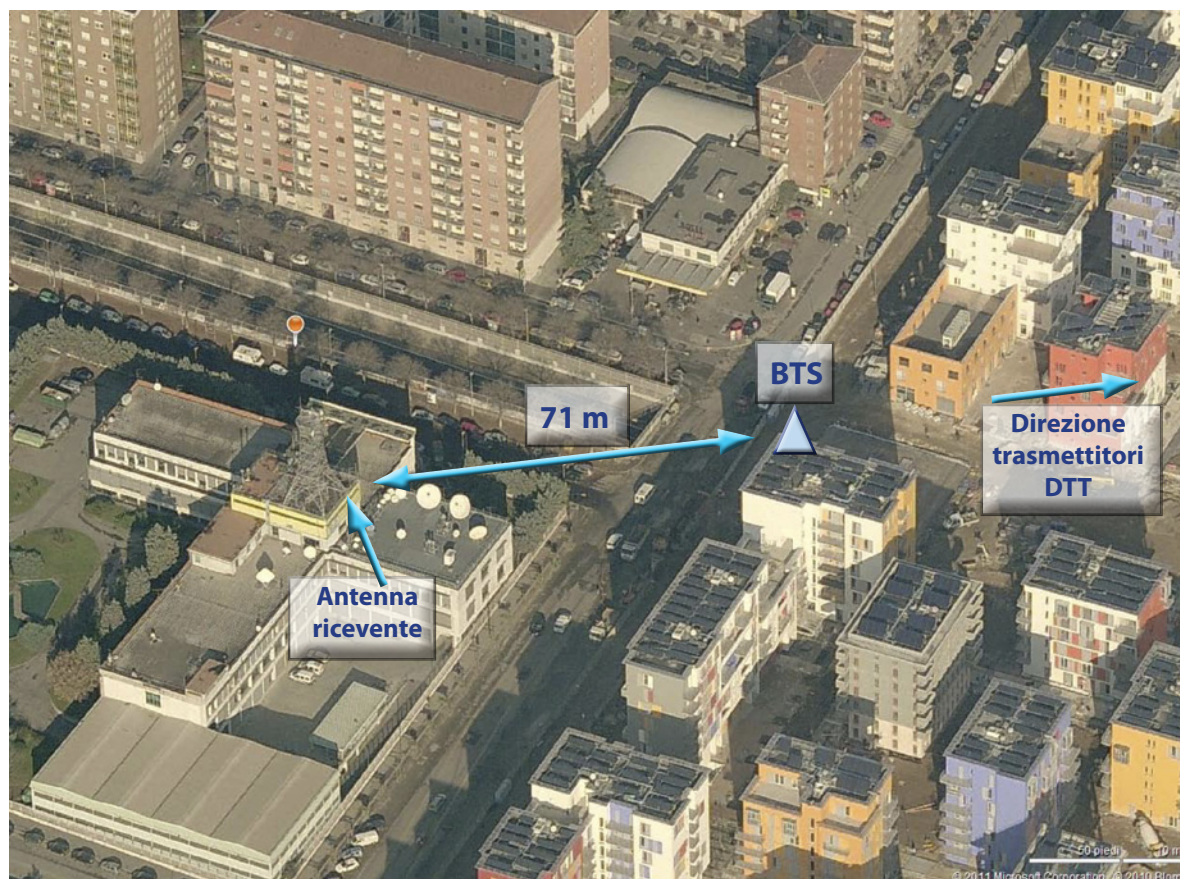



Fig. 10 – Spettro di potenza del segnale all'uscita dell'amplificatore (punto 2 di fig. 8), con o senza se-gnale LTE.

Fig. 9 – Posizione di una ipotetica BTS che generi un segnale LTE equivalente a quello inserito in laboratorio.

Tab. 6 – Canali ricevibili.

Canale	Antenna	Amplif.	LTE 100%	LTE 50%	LTE idle
21	☺	☺	☹	☹	☺
22	☺	☺	☹	☹	☺
23	☺	☺	☺	☺	☺
24	☺	☺	☹	☹	☺
25	☺	☺	☹	☹	☺
26	☺	☺	☹	☹	☺
29	☺	☺	☹	☹	☺
30	☺	☺	☹	☹	☺
31	☺	☺	☹	☹	☺
32	☺	☺	☹	☹	☺
33	☺	☺	☹	☹	☺
34	☺	☺	☹	☺	☺
35	☺	☺	☹	☹	☺
36	☺	☺	☹	☹	☺
38	☺	☺	☺	☺	☺
39	☺	☺	☹	☹	☺
40	☺	☺	☹	☹	☺
41	☺	☺	☹	☹	☺
42	☺	☺	☹	☹	☹
43	☺	☺	☹	☹	☺
44	☺	☺	☹	☹	☺
45	☺	☺	☹	☹	☺
47	☺	☺	☹	☹	☺
48	☺	☺	☹	☹	☺
49	☺	☺	☹	☹	☺
50	☺	☺	☹	☹	☹
51	☺	☺	☹	☹	☺
52	☺	☺	☹	☹	☺
53	☺	☺	☹	☹	☺
54	☺	☺	☹	☹	☺
56	☺	☺	☹	☹	☺
58	☺	☺	☹	☹	☹
59	☺	☺	☹	☹	☺
60	☺	☺	☹	☹	☹

Tab. 7 – Canali ricevibili con segnale LTE attenuato.

Canale	LTE 100%		LTE 50%		LTE idle	
	-6dB	-12dB	-6dB	-12dB	-6dB	-12dB
21	☺	☺	☺	☺	☺	☺
22	☺	☺	☺	☺	☺	☺
23	☺	☺	☺	☺	☺	☺
24	☺	☺	☺	☺	☺	☺
25	☺	☺	☺	☺	☺	☺
26	☺	☺	☺	☺	☺	☺
29	☺	☺	☺	☺	☺	☺
30	☺	☺	☺	☺	☺	☺
31	☺	☺	☺	☺	☺	☺
32	☺	☺	☺	☺	☺	☺
33	☺	☺	☺	☺	☺	☺
34	☺	☺	☺	☺	☺	☺
35	☺	☺	☺	☺	☺	☺
36	☺	☺	☺	☺	☺	☺
38	☺	☺	☺	☺	☺	☺
39	☺	☺	☺	☺	☺	☺
40	☺	☺	☺	☺	☺	☺
41	☺	☺	☺	☺	☺	☺
42	☹	☺	☺	☺	☺	☺
43	☺	☺	☺	☺	☺	☺
44	☹	☺	☺	☺	☺	☺
45	☺	☺	☺	☺	☺	☺
47	☺	☺	☺	☺	☺	☺
48	☺	☺	☺	☺	☺	☺
49	☺	☺	☺	☺	☺	☺
50	☹	☺	☺	☺	☺	☺
51	☺	☺	☺	☺	☺	☺
52	☹	☺	☺	☺	☺	☺
53	☹	☺	☺	☺	☺	☺
54	☺	☺	☺	☺	☺	☺
56	☹	☺	☺	☺	☺	☺
58	☹	☺	☹	☺	☺	☺
59	☹	☺	☺	☺	☺	☺
60	☹	☹	☹	☺	☹	☺

Un raffronto sull'immagine video all'uscita di un Set-Top-Box DVB-T Topfield 3000T ha permesso inoltre di confermare i risultati in termini di avvenuta ricezione.

La tabella 6 riporta i risultati relativi alla ricevibilità dei singoli canali televisivi nelle varie configurazioni esaminate. Dalla tabella sono stati esclusi i canali 46 e 57, non ricevibili neppure in antenna.

Si può notare che, in presenza di "LTE 100%" o "LTE 50%" senza ulteriori attenuazioni, gli unici canali ricevibili sono il 23 (che è trasmesso con modulazione QPSK), il 34 (16-QAM, peraltro non ricevibile con configurazione "LTE 100%") e il 38 (a standard DVB-H). La situazione migliora nel caso di "LTE idle", con prestazioni che rimangono più critiche nella parte alta della banda.

L'intermodulazione introdotta è pertanto più o meno critica in funzione del carico del segnale LTE in termini di data-rate: la condizione più critica si ha con carico 100% e meno critica con segnale LTE in "idle": questo è dovuto al fatto che la potenza media del segnale LTE si riduce al diminuire del carico, riducendo così l'intermodulazione.

La tabella 7 riporta i risultati ottenuti con valori più bassi di segnale LTE interferente: questi risultati offrono anche un'indicazione dei possibili benefici di un filtraggio "in-line" all'ingresso dell'amplificatore.

Le figure 11 e 12 riportano più in dettaglio i risultati, in termini di MER e Noise Margin rispettivamente, nelle varie configurazioni esaminate. Le linee rosse orizzontali danno un'indicazione della "soglia di allarme" Nota 12. Confrontando i due grafici si può apprezzare la maggiore protezione fornita dalle modulazioni più robuste.

Nota 12 - Sul grafico del MER la soglia è riferita a segnali 64 QAM.

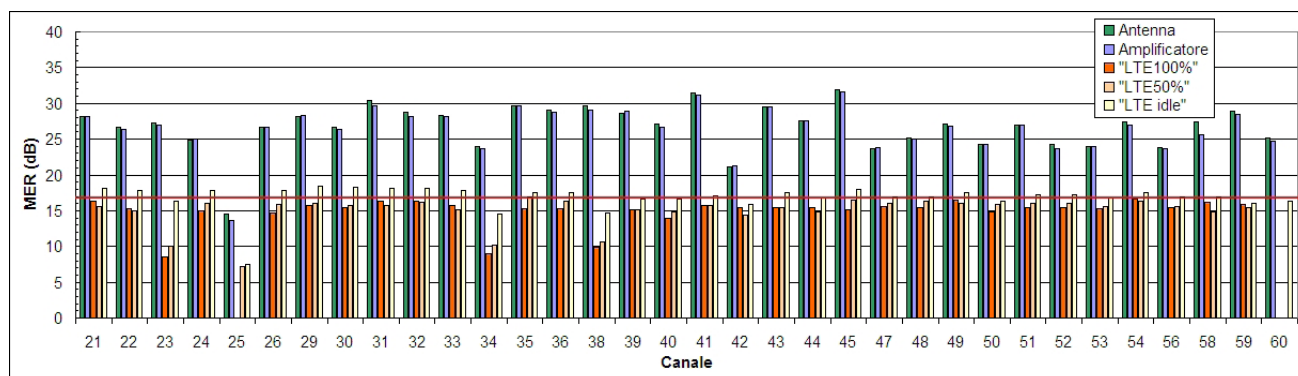



Fig. 11 – Misura del MER sui vari canali, con e senza LTE.

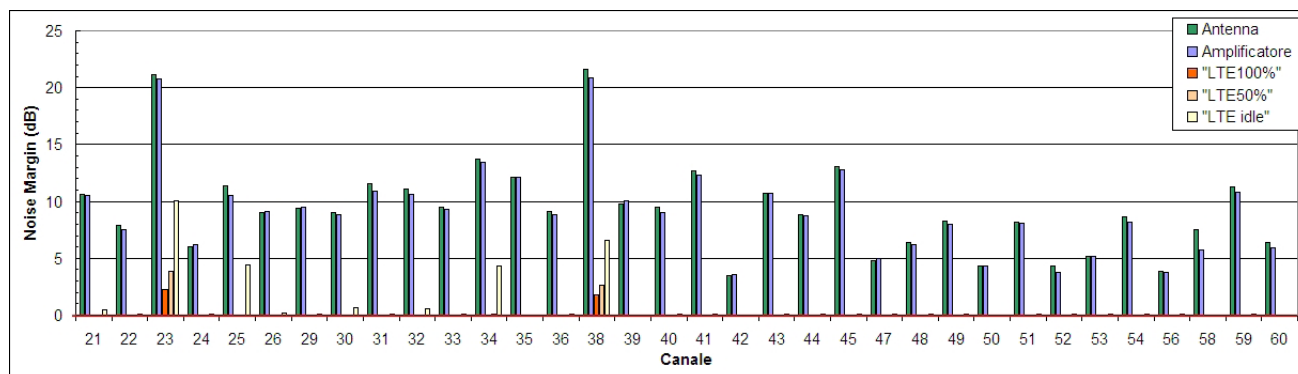



Fig. 12 – Misura del Noise Margin sui vari canali, con e senza LTE.

Infine, la tabella 8 riassume i risultati ottenuti in termini di numero di canali ricevibili e di degradamento medio del MER rispetto alla condizione originaria di assenza del segnale LTE.

Tab. 8 – Risultati cumulativi.

Configurazione	Numero canali ricevibili	Degradamento medio MER
Antenna	34	-0,4 dB
Amplificatore	34	-
"LTE 100%"	2	11,1 dB
"LTE 50%"	3	11 dB
"LTE idle"	30	9,4 dB
"LTE 100%" –6 dB	25	9,5 dB
"LTE 100%" –12 dB	33	4 dB
"LTE 50%" –6 dB	32	8,6 dB
"LTE 50%" –12 dB	34	2,5 dB
"LTE idle" –6 dB	33	4,1 dB
"LTE idle" –12 dB	34	0,6 dB

I risultati di queste misure sono in linea con una campagna di misure recentemente condotta in Inghilterra per conto di Ofcom [13].

4.4 Stima dell'area interessata

Dai risultati esposti nei paragrafi precedenti, si può ricavare che possono sorgere problemi nella ricezione dei segnali televisivi tramite impianti centralizzati d'antenna se il livello del segnale LTE interferente supera il livello dei segnali DTT di oltre 15÷20 dB.

Fermo restando che occorrerebbe considerare la specificità di ogni singolo caso (orografia, densità e altezza degli edifici, ecc.), è possibile fare una stima dell'estensione dell'area interessata in campo libero in modo teorico, a partire dalle leggi sulla propagazione elettromagnetica.

La stima del campo in quota (a 10 m) in assenza di ostruzioni segue la formula:

$$E_{[mV/m]} = \frac{222}{d_{[km]}} \sqrt{ERP_{[kW]}}$$

A sua volta, il campo elettromagnetico in prossimità dell'antenna ricevente può essere correlato con il livello del segnale ricevuto in antenna tramite la seguente formula:

$$E_{[dB\mu V/m]} = V_{L\,[dB\mu V]} + K_{[dBm-1]}$$

dove

$$K = \sqrt{(120 \cdot 4\pi^2) \,/\, (\lambda^2 \cdot R_{rad} \cdot G)} \quad [m^{-1}]$$

Alla frequenza di 800 MHz, considerando un'antenna di guadagno 9 dBi e impedenza d'entrata 75 Ω, il fattore d'antenna K risulta pari a 17,5 dB(m^{-1}).

È quindi possibile calcolare la distanza dalla BTS a cui, in campo libero, gli effetti dovuti al segnale LTE interferente, in assenza di tecniche di mitigazione, sarebbero ancora evidenti.

La tabella 9 riporta, a titolo di esempio, tale distanza (corrispondente a un C/I di 20 dB) per diversi valori di livello dei segnali DTT ricevuti in antenna (ovvero a diverse distanze dai trasmettitori), con riferimento ad una BTS LTE con EIRP di 59 dBm e polarizzazione ±45° (come detto, in questo caso la discriminazione di polarizzazione dell'antenna è di circa 3 dB) e nella stessa direzione dei trasmettitori DTT.

Tab. 9 – Distanza dalla BTS fino a cui si possono prevedere disturbi sui segnali DTT in assenza di tecniche di mitigazione.

Livello segnali DTT in antenna	Campo e.m. DTT	Minimo campo e.m. LTE disturbante	Distanza dalla BTS
45 dB(μV)	62,5 dB(μV/m)	82,5 dB(μV/m)	10 km
65 dB(μV)	82,5 dB(μV/m)	102,5 dB(μV/m)	1 km
85 dB(μV)	102,5 dB(μV/m)	122,5 dB(μV/m)	100 m

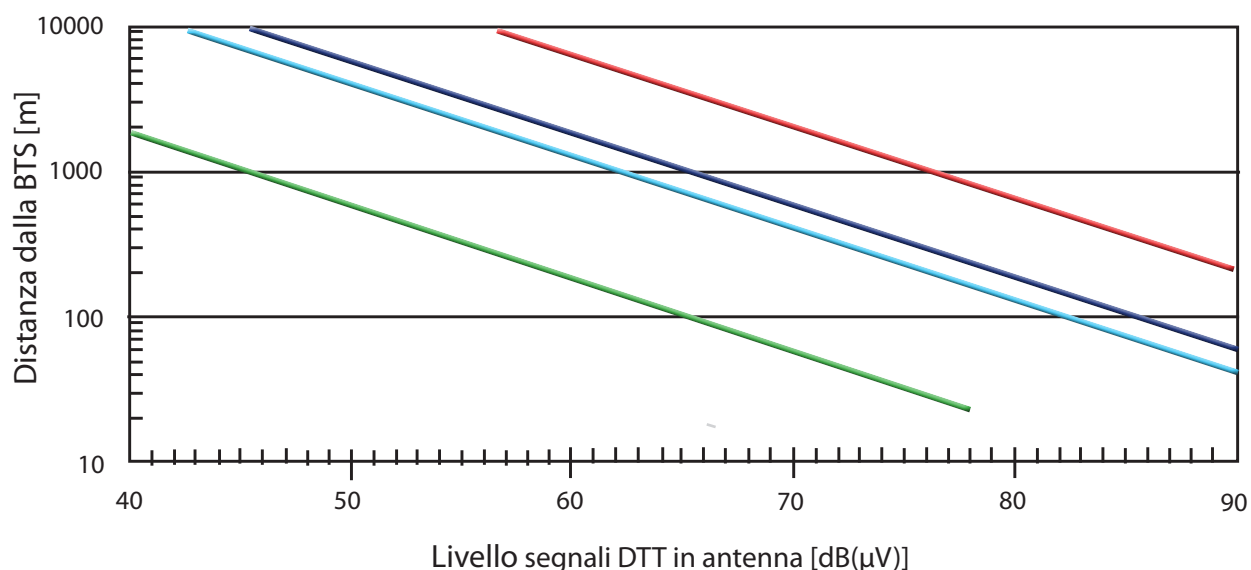



Fig. 13 – Andamento della distanza dalla BTS entro cui si possono avere interferenze, in funzione del livello dei segnali DTT in antenna.

Anche questi valori sono in linea con le conclusioni dell'indagine condotta per conto di Ofcom [13].

La figura 13 riporta infine l'andamento della distanza dalla BTS entro cui si possono avere interferenze, al variare del livello dei segnali DTT ricevuti in antenna, in diverse condizioni. Oltre al caso relativo alla tabella 9, raffigurato in blu, sono considerati anche i casi più favorevoli di ricezione da una diversa direzione (tipicamente, il guadagno d'antenna si riduce di almeno 3 dB per un angolo di 35° e di almeno 20 dB oltre 90°) e il caso più sfavorevole di EIRP del segnale LTE pari a 67 dBm (ad es. in ambiente rurale) e con la stessa polarizzazione dei segnali DTT.

Come si può vedere, se l'antenna ricevente è orientata in una diversa direzione rispetto alla BTS LTE, la distanza può essere ridotta del 30% per angolo di 35°, o di un fattore 10 per angolo superiore a 90°.

Va comunque ribadito che i valori calcolati in questo paragrafo sono soltanto indicativi, per le seguenti ragioni:

- La formula utilizzata per il calcolo del campo elettromagnetico è valida in campo libero: in ambiente urbano, il valore effettivo potrebbe essere più basso;
- Una ulteriore riduzione del campo ricevuto potrebbe essere apportata dal tilt dell'antenna, in funzione dell'altezza relativa di antenna BTS e antenna ricevente;
- I calcoli si riferiscono ad un solo blocco LTE da 10 MHz (o due blocchi da 5 MHz) irradiato da una singola BTS: in presenza di più blocchi e di una moltitudine di BTS presenti in un ambiente urbano, il valore effettivo del campo elettromagnetico ricevuto potrebbe essere più alto;
- Nel calcolo si è fatto riferimento ad un C/I limite di -20 dB: scegliendo invece il valore più conservativo di -15 dB, le distanze calcolate aumenterebbero circa dell'80%.

5. Conclusioni

Le simulazioni al calcolatore e le misure di laboratorio hanno permesso di analizzare il comportamento degli amplificatori a larga banda degli impianti centralizzati d'antenna in presenza di segnali LTE.

Simulazioni e misure, effettuate in condizioni realistiche e non eccessivamente pessimistiche, hanno concordemente mostrato che, in alcune situazioni, l'impatto dei segnali LTE sull'intermodulazione degli amplificatori potrebbe essere serio, a conferma dei risultati pubblicati in ambito internazionale. Gli effetti più evidenti si hanno sui canali adiacenti (in particolare sul canale 60), ma tutti i canali nella banda UHF possono essere degradati fino alla mancanza di ricezione. È infatti opportuno che il livello del segnale LTE interferente sia ridotto ad un valore non superiore a circa 15÷20 dB rispetto ai segnali DTT.

Si può stimare che, in assenza di filtraggio preventivo o di altre tecniche di mitigazione, in condizioni sfavorevoli gli impianti potrebbero essere affetti da disturbi fino ad una distanza di oltre 1 km dalla BTS.

Un filtraggio di base del segnale d'ingresso al centralino può aiutare a ridurre gli effetti dell'intermodulazione, ma per essere efficace è necessario l'utilizzo di filtri ad elevata selettività, abbastanza costosi, mentre l'impiego dei semplici filtri "in-line" a basso costo in alcuni casi potrebbero fornire risultati insoddidsfaceenti. Nei casi in cui il filtraggio non fosse sufficiente, saranno necessarie ulteriori contromisure sull'impianto, da valutare caso per caso (spostamento delle antenne riceventi, utilizzo di centralini canalizzati, ecc.). Si può presumere infine che i componenti di futura progettazione (antenne, amplificatori, miscelatori, ecc.) avranno già banda limitata a 790 MHz, agevolando le altre tecniche di mitigazione almeno sui nuovi impianti.

È poi auspicabile che opportuni vincoli siano fissati per l'operatore LTE, in modo da limitare in determinate aree l'entità del segnale interferente ricevuto in antenna: a tale proposito si possono adottare tecniche quali cross-polarizzazione, limitazione della massima EIRP, ecc.

In ogni caso, la convivenza di servizi broadcast e 4G nella banda UHF richiederà una adeguata collaborazione tra tutti gli operatori coinvolti, in modo da evitare di far ricadere i relativi costi interamente sull'utente finale.

Bibliografia

1. EC Decision 2010/267/EU: Commission Decision of 6 May 2010 on harmonised technical conditions of use in the 790-862 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the European Union, Official Journal of the European Union, maggio 2010, http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/2010267EU.pdf.
2. CEPT Report 30: Report from CEPT to the European Commission in re-sponse to the Mandate on "The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790 - 862 MHz for the digital dividend in the European Union", ottobre 2009, http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/CEPTREP030.pdf.
3. W, Sami: How can mobile and broadcasting networks use adjacent bands?, EBU Technical Review, 2011, http://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_2011-Q1_digital-dividend_sami.pdf.

4. CEPT Report 31: Report from CEPT to the European Commission in re-sponse to the Mandate on "Technical considerations regarding harmonisation options for the digital dividend in the European Union", ottobre 2009, http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/CEPTREP031.pdf.

5. B. Randhawa, I. Parker, S. Antwi: LTE Interference into Domestic Digital Television Systems, Cobham Report 2010-0026, gennaio 2010, http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/800mhz/statement/2010-0026.pdf.

6. R. Karimi: Considerations related to the licensing of the 800 MHz band in the UK, EBU ECS Workshop, ottobre 2010, http://tech.ebu.ch/docs/events/ecs10/presentations/ebu_ecs10_workshop_karimi.pdf .

7. Ofcom: Coexistence of new services in the 800 MHz band with digital terrestrial television, Consultation, giugno 2011, http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/dtt/summary/dttcondoc.pdf.

8. Ofcom: Technical analysis of interference from mobile network base sta-tions in the 800 MHz band to digital terrestrial television, Technical Report, giugno 2011, http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/dtt/annexes/Technical-Report.pdf.

9. F. Mussino: Measurement approaches for 5th order intermodulation products, CENELEC TC 209 Workshop, novembre 2010, ftp://ftp.cenorm.be/CENELEC/TC209/Mussino.pdf .

10. CEI EN 60728-3: Impianti di distribuzione via cavo per segnali televisivi, sonori e servizi interattivi - Parte 3: Apparecchiature attive a larga banda per impianti con cavi coassiali, ottobre 2006.

11. A. Deotto, A. Ditto: Impianti d'antenna TV singoli e centralizzati, CO.EL, 1992.

12. CEI 100-7: Guida per l'applicazione delle Norme sugli impianti di ricezione televisiva, febbraio 2005.

13. P. Barnett, L. Mercer: The Impact of LTE on Communal Aerial Systems – A short study for Ofcom, ManderCoM, Issue 1.1, Giugno 2011, http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/dtt/annexes/The-impact-of-LTE.pdf.

14. ITU-R Recommendation BT.1368-9: Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands, dicembre 2011.

15. ITU-R Report BT.2215: Measurements of protection ratios and overload thresholds for broadcast TV receivers, maggio 2011.

"Elettronica e Telecomunicazioni",
nata nel 1952 come "Elettronica e Televisione Italiana", è una rivista quadrimestrale di Rai Eri realizzata dal Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai, sul cui sito è disponibile gratuitamente dal 2001.

Il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica (CRIT) della Rai nasce a Torino nel 1930 come "Laboratorio Ricerche" e dal 1960 ha sede in Corso Giambone 68. Successivamente assume la denominazione "Centro Ricerche" e, dall'ottobre 1999, quella attuale.
L'attività del Centro è coordinata dalla Direzione Strategie Tecnologiche.
Alla nascita, tra i suoi obiettivi ha la progettazione e realizzazione di impianti ed apparati di nuova concezione, non reperibili sul mercato. I profondi cambiamenti nello scenario delle telecomunicazioni hanno stimolato la trasformazione del Centro.
Ha ricevuto riconoscimenti a livello internazionale per i contribuiti forniti alle attività di studio e normalizzazione dei sistemi per la codifica dei segnali audio e video in forma digitale, allo sviluppo delle tecniche di compressione dei segnali attualmente alla base dei sistemi di trasmissione e registrazione dei segnali video, alla definizione degli standard di diffusione e trasmissione DVB.
Il Centro contribuisce all'evoluzione delle tecnologie relative al sistema radiotelevisivo e multimediale e supporta il Gruppo nelle scelte di indirizzo tecnologico e nella fase di sperimentazione e introduzione in esercizio di nuovi prodotti e sistemi. E' attivo in numerosi progetti finanziati in ambito europeo e nazionale e collabora con Università e Industrie per l'attività di ricerca, per la definizione dei nuovi standard e lo sviluppo dei nuovi servizi.

Rai Radiotelevisione S.p.A.
Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica
Corso E. Giambone, 68 - I 10135 Torino
www.crit.rai.it